

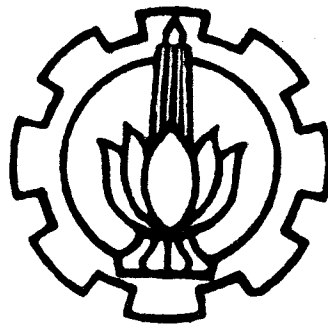
3100096007850

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	27 AUG 1994
Terima Di	
No. Agenda Prp.	3123 / TA

TUGAS AKHIR (TP 1703)

STUDI TENTANG SEAKEEPING KAPAL LAYAR MOTOR TRADISIONAL TIPE MADURA DI GELOMBANG REGULAR

RSKe
623.822.3
Sus
S-1
1994



OLEH

HERU SJSANTO

NRP : 4894100306

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1994

TUGAS AKHIR

(TP.1703)

Studi Tentang Seakeeping Kapal Layar Motor Tradisional Tipe Madura Di Gelombang Regular

**Diajukan untuk melengkapi syarat mencapai gelar
Sarjana Pada Jurusan Teknik Perkapalan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Oleh :

HERU SUSANTO

NRP : 4894100306

**Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

1994

LEMBAR PENGESAHAN

Surabaya, Agustus 1994
Mengetahui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



(Ir. Murdijanto, M.Eng.)

NIP : 130 532 028



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

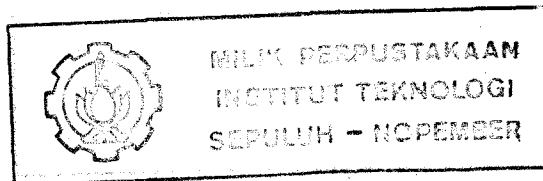
TUGAS - AKHIR.

No.: 24/PT12.FTK.2/M/93

NOMOR/MATA KULIAH : TP.1703 /TUGAS AKHIR.
NAMA MAHASISWA : Heru Susanto.....
NOMOR POKOK : 4894100306.....
TANGGAL DIBERIKAN TUGAS : 02. Oktober 1993.....
TANGGAL SELESAI TUGAS : 28. Mei 1994.....
DOSEN PEMBIMBING : Ir. Murdijanto, M.Eng.....

TEMA/URAIAN/DATA-DATA YANG DIBERIKAN :

"STUDI TENTANG SEEKEPING KAPAL LAYAR TRADISIONAL TYPE MADURA DI GELOMBANG REGULER"



Surabaya, . . 12 Oktober..... 1993.

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN I.T.S.
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN.

Dibuat rangkap 4 :

1. Mahasiswa Ybs.
2. Dekan (mohon dibuatkan SK).
3. Dosen Pembimbing (Merah).
4. Arsip Kajur (Kuning).



NIP.:130 532 029.

ABSTRAK

Merancang sebuah kapal dengan perilaku dinamis yang baik untuk kondisi lautan dimana kapal tersebut berlayar, merupakan suatu tugas ahli perkapalan (naval architect). Oleh karena itu masalah seakeeping yang meliputi gerak heave, pitch, yaw, sway, dan roll perlu diujicoba pada sebuah kapal.

Pada kesempatan ini diadakan pengujian untuk KLM Tipe Madura dari segi gerak vertikalnya yang meliputi: heave dan pitch. Tingkah laku kapal tersebut sangat menarik diteliti karena kalau berjalan (berlayar) miring, sehingga menghasilkan karakteristik yang unik.

Pendekatan seakeeping dapat dicari secara eksperimen (menggunakan towing tank dengan model kapal) maupun secara analitis (menggunakan persamaan matematis). Selain masalah seakeeping juga diteliti masalah hambatan setiap kecepatan pada kondisi kemiringan tertentu. Dari kedua antara eksperimen dan teori untuk kopel heave dan pitch kemudian dibanding.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah, tugas akhir ini dapat penulis selesaikan dengan baik. Tugas akhir ini merupakan beban kredit 8 sks yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih sangat sederhana dan banyak kekurangannya. Semoga studi seakeeping ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan selanjutnya.

Harapan penulis semoga penulisan tugas akhir ini dapat memberikan sumbangan pemikiran dan nilai tambah dari perbendaharaan ilmu perkapalan.

Tak lupa ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Ir. Murdijanto, M.Eng.
2. Bapak Ir. Herry Supomo, M.Sc selaku dosen wali.
3. Bapak Ir. Petrus Adrianto, selaku kepala laboratorium hidrodinamika.
4. Bapak Ir. Asjhar Imron, M.Sc, M.SE, PED, selaku kepala laboratorium komputasi FTK-ITS.
5. Bapak Ir. Langgeng Condro, Bapak Toni, yang selalu siap membantu percobaan di laboratorium hidrodinamika.
6. Bapak dan ibu tercinta di rumah.
7. Ferry, Wira, dan mbak Endang, yang selalu memberikan semangat.

8. Saudara Nuryanto (P.26), Agus (P.29) rekan dan patner kerja.
9. Rekan-rekan Corps Gebang Putih 46 Surabaya, yang selalu memberikan motivasi kepada penulis.
10. Rekan-rekan mahasiswa (P.27, P28, P29), yang selalu menemani di lab. komputer.

Dan masih banyak pihak lain yang tak dapat penulis sebutkan satu persatu, juga berjasa besar dalam mendukung proses penyelesaian tugas ini, semoga budi baiknya mendapat balasan yang berlipat dari Allah SWT.

Surabaya, Agustus 1994

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Awal	i
Lembar Judul	ii
Lembar Pengesahan	iii
Lembar Pemberian Tugas	iv
Lembar Peruntukan	v
Abstrak	vi
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xii
Daftar Grafik	xiii
Bab I Pendahuluan	
I.1 Latar belakang	I - 1
I.2 Tujuan penulisan	I - 3
I.3 Pembatasan masalah	I - 4
I.4 Sistematika penulisan	I - 4
Bab II Teori Gelombang	
II.1 Definisi	II - 1
II.2 Penyebaran gelombang	II - 2
II.3 Gelombang di lautan	II - 6

II.4	Gelombang regular	II - 8
II.5	Frekuensi encountering	II - 9
Bab III	Dinamika Kapal	
III.1	Formula mencari tahanan kapal	III - 1
III.1.1	Umum	III - 1
III.1.2	Gaya hidrodinamika yang bekerja pada sebuah kapal	III - 2
III.1.3	Macam-macam tahanan	III - 4
III.1.4	Formula pendekatan dalam menentukan tahanan kapal di air tenang	III - 7
III.2	Teori strip untuk menentukan persamaan kopel heave dan pitch	III - 12
III.2.1	Umum	III - 12
III.2.2	Sistem koordinat	III - 14
III.2.3	Dasar persamaan gerakan	III - 16
III.2.4	Persamaan gerak kopel heave dan pitch	III - 18
Bab IV	Eksperimen	
IV.1	Eksperimen tahanan kapal di air tenang	IV - 1
IV.1.2	Menentukan kalibrasi pada load cell	IV - 2
V.1.3	Peralatan yang digunakan dalam uji tahanan model	IV - 3
IV.1.4	Langkah-langkah percobaan tahanan model kapal	IV - 4
IV.1.5	Perhitungan tahanan kapal	IV - 6
IV.2	Experimen kopel heave dan pitch di gelombang regular	IV - 16
IV.2.1	Pengikatan model	IV - 16
V.2.2	Kalibrasi gelombang	IV - 17
IV.2.3	Peralatan yang dipakai pada percobaan kopel heave dan pitch	IV - 18
IV.2.4	Prosedur eksperimen kopel heave dan pitch	IV - 21

IV.2.4	Prosedur eksperimen kopel heave dan pitch	IV - 21
IV.2.5	Perhitungan besarnya heave dan pitch	IV - 23

Bab V Analisa

V.1	Umum	V - 1
V.2	Analisa uji tahanan	V - 1
V.3	Analisa hasil eksperimen dan perhitungan analitis untuk kopel heave dan pitch	V - 5

Bab VI Kesimpulan

V.1	Kesimpulan uji tahanan	VI - 1
V.2	Kesimpulan uji kopel heave dan pitch	VI - 2

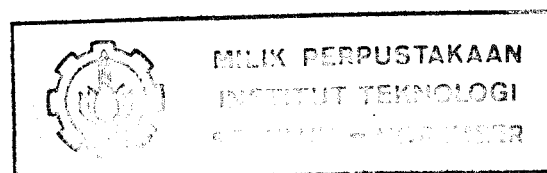
Daftar Pustaka

- Lampiran A : gambar model klm tipe madura
- Lampiran B : luas permukaan basah model
- Lampiran C : diagram alir
- Lampiran D : listing program
- Lampiran E : tabel sea state
- Lampiran F : viskositas kinematis
- Lampiran G : massa jenis air tawar dan air laut
- Lampiran H : perbandingan skala model dengan kapal
- Lampiran I : contoh rekaman kopel heave dan pitch
- Lampiran J : foto-foto eksperimen
- Lampiran K : koefisien added mass
- Lampiran L : rasio amplitudo

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Uraian	Halaman
II.1	<i>gelombang regular</i>	II - 2
II.2	<i>storm wave pada suatu luasan</i>	II - 4
II.3	<i>penyebaran gelombang dari suatu luasan gangguan</i>	II - 4
II.4	<i>swell pada jarak tertentu dari storm</i>	II - 5
II.5	<i>definisi sudut hadang</i>	II - 10
II.6	<i>kapal bergerak dengan sudut encountering</i>	II - 11
III.1	<i>gaya-gaya yang hidrodinamika yang bekerja pada sebuah kapal</i>	III - 3
III.2	<i>komponen tahanan spesifik kapal</i>	III - 6
III.3	<i>sketsa grafik untuk mencari CR</i>	III - 11
III.4	<i>sketsa grafik dalam mencari CT untuk kapal yang sebenarnya</i>	III - 11
III.5	<i>potongan strip melintang kapal</i>	III - 11
III.5.a	<i>sistem koordinat sumbu benda</i>	III - 14
III.5.b	<i>sistem koordinat datangnya gelombang</i>	III - 14
III.5.c	<i>sistem koordinat datangnya gelombang</i>	III - 14
III.6	<i>koefisien gaya heave perseksi (added mass dan damping) akibat percepatan dan kecepatan pitch</i>	III - 24

III.7	<i>koefisien momen pitch perseksi (added mass dan damping) akibat percepatan dan kecepatan heave</i>	III - 24
III.8	<i>koefisien added mass dan damping gaya heave akibat percepatan dan kecepatan heave</i>	IV - 1
IV.1	<i>peralatan uji tahanan model kapal</i>	IV - 3
IV.2	<i>model kapal yang dimiringkan $0^{\circ}, 5^{\circ}, 10^{\circ}$ terhadap center line</i>	IV - 5
IV.3	<i>pemasangan load cell pada uji tahanan model kapal</i>	IV - 6
IV.4	<i>pengikatan model agar menghasilkan kopel heave dan pitch</i>	IV - 16
IV.5	<i>peralatan kalibrasi gelombang</i>	IV - 17
IV.6	<i>core</i>	IV - 19
IV.7	<i>trimmeter yang diperlengkap dengan summing amplifier</i>	IV - 20
IV.8	<i>peralatan yang dipergunakan agar menghasilkan kopel heave dan pitch</i>	IV - 22
IV.9	<i>perhitungan besarnya heave dan pitch</i>	IV - 24
VI.1	<i>gambaran garis sarat pada kemiringan $0^{\circ}, 5^{\circ}, 10^{\circ}$</i>	V - 4
VI.2	<i>bentuk lewis setengah lingkaran</i>	V - 10



DAFTAR GRAFIK

Grafik	Uraian	Halaman
IV.1	<i>hubungan antara RT_m dengan V_m</i>	IV - 11
IV.2	<i>hubungan antara CT_m dengan F_n</i>	IV - 12
IV.3	<i>metode prohaska untuk menentukan form faktor</i>	IV - 13
IV.4	<i>hubungan antara CT_s dengan F_n</i>	IV - 14
IV.5	<i>hubungan antara RT_s dengan V_S</i>	IV - 15
V.1	<i>amplitudo heave pada kapal yang mengalami kopel heave dan pitch</i>	V - 8
V.2	<i>amplitudo pitch pada kapal yang mengalami kopel heave dan pitch</i>	V - 9
V.3	<i>hasil eksperimen amplitudo heave</i>	V - 10
V.4	<i>hasil eksperimen amplitudo pitch</i>	V - 11

DAFTAR TABEL

Tabel	Uraian	Halaman
III.1	<i>Koefisien-koefisien persamaan gerak kopel heaving dan pitching</i>	III - 23
IV.1	<i>Hasil uji tahanan kapal</i>	IV - 9
V.1	<i>Perbandingan hasil antara teori strip dengan eksperimen posisi kemiringan 0° untuk amplitudo heaving</i>	V - 5
V.2	<i>Perbandingan hasil antara teori strip dengan eksperimen posisi kemiringan 0° untuk amplitudo pitching</i>	V - 6
V.3	<i>Perbandingan hasil eksperimen dari berbagai kemiringan ($0^{\circ}, 5^{\circ}, 10^{\circ}$) untuk amplitudo heaving pada saat kapal mengalami kopel heave dan pitch</i>	V - 6
V.4	<i>Perbandingan hasil eksperimen dari berbagai kemiringan ($0^{\circ}, 5^{\circ}, 10^{\circ}$) untuk amplitudo pitching pada saat kapal mengalami kopel heave dan pitch</i>	V - 7

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG .

Salah satu aplikasi hidrodinamika yang berpangkal dari interaksi antara fluida dan benda padat adalah masalah seakeeping. Kondisi lautan yang tak ramah pada musim tertentu dapat mengakibatkan sebuah kapal tak berani berlayar. Salah satu tantangan bagi seorang ahli perkapalan (naval architect) adalah bagaimana merancang kapal dengan tingkah laku dinamis yang cukup bagus untuk kondisi lautan yang tak ramah tersebut, sehingga kapal tidak perlu bersembunyi pada waktu musim buruk tiba. Permasalahan ini adalah salah satu contoh yang mungkin bisa diselesaikan dengan pendekatan seakeeping.

Akan tetapi sebelum hal itu tercapai masih banyak sekali pertanyaan yang harus dijawab. Fenomena hidrodinamika kapal dengan segala permasalahannya harus dikuasai, kondisi lautannya pada kondisi yang buruk harus didata, penentuan parameter hidrodinamis yang dominan harus dilakukan dan sebagainya.

Dalam banyak hal masalah seakeeping tidak bisa diselesaikan secara eksperimen maupun secara analitis saja. Sampai saat ini penyelesaian masalah itu masih harus menggabungkan kedua pendekatan tadi, meskipun kecenderungan di masa depan (seperti hal lainnya dalam bidang engineering) akan mengarah ke pendekatan secara teoritis. Sampai saat ini teknik-teknik yang ada masih memerlukan bantuan harga yang didapatkan secara eksperimen, atau setidaknya sampai tingkat keyakinan yang tinggi sekali, hasil eksperimen masih diperlukan sebagai verifikasi pendekatan numerik. Di

pihak lain pendekatan secara eksperimen tanpa referensi analitis dapat menjerumuskan kita dalam usaha untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, hal ini sangat berbahaya.

Bagaimanapun dalam perancangan modern dengan bantuan model kapal dan towing tank, percobaan hidrodinamis menggunakan model terskala tetap merupakan prosedur yang terpercaya dibandingkan dengan menggunakan pendekatan secara analitis, misalnya memakai pendekatan dengan teori strip.

Pada tahap awal perancangan paling tidak gambaran seakeeping harus dievaluasi dengan pendekatan secara kasar, misalnya menggunakan teori strip. Kelemahan utama dari teori strip adalah bahwa pada dasarnya teori strip dari sifatnya adalah dua dimensi. Dengan demikian pemakaian teori strip mengabaikan pengaruh 3 dimensi yaitu pengaruh panjang silinder yang terhingga terhadap aliran yang terjadi.

Masalah seakeeping meliputi gerak heave, pitch, surge, yaw, sway, dan roll. Pada kenyataannya, kapal di laut bebas dapat mengalami keenam gerakan seakeeping itu sekaligus. Tetapi pada kesempatan ini diambil salah satu permasalahan seakeeping yaitu heave dan pitch. Untuk keperluan studi eksperimen tersebut, kapal layar tipe Madura dijadikan obyek penelitian.

Pengambilan model kapal tipe Madura ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik kapal, bagaimana gerak ke arah vertikalnya. Gerak vertikal yang terdiri atas heave dan pitch digabungkan, akan diperoleh kopel heave dan pitch. Prediksi respons tahap pertama bisa dilakukan dengan asumsi gelombang regular. Dengan demikian respons gerak heave dan pitch dengan teori strip dapat dihitung dengan kasar. Dari sini paling tidak perencana tahu

apakah kapal yang dirancang akan mengalami layak layar dengan kondisi laut dimana kapal berlayar.

Tingkah laku kapal layar tipe Madura sangat menarik untuk diteliti karena kapal tersebut kalau berjalan miring.

Selain gerak kopel heave dan pitch, diberikan gambaran karakteristik kapal Madura dipandang dari segi tahanan kapalnya. Hubungan tahanan kapal pada kecepatan-kecepatan tertentu dan pada kondisi kemiringan tertentu akan ditunjukkan.

Dengan mengetahui karakteristik kapal tipe Madura untuk kopel heave dan pitch serta tahanannya akan memberikan input bagi seorang perancang kapal agar lebih baik lagi merancang sebuah kapal yang sesuai dengan keperluan dan kondisi laut yang kadang-kadang memang tak ramah.

Pada akhir bab ini akan dibandingkan hasil-hasil yang dicapai secara eksperimen dan secara analitis yaitu dengan menggunakan teori strip, untuk gerakan kopel heave dan pitch.

I.2 TUJUAN PENULISAN

Tugas akhir ini ditulis dengan tujuan :

1. Membandingkan hasil kopel heave dan pitch secara analitis maupun secara percobaan.
2. Mengetahui karakteristik kapal layar tipe Madura untuk tahanannya pada kecepatan tertentu di air tenang, pada waktu mengalami kemiringan/oleng sebesar sudut $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$.
3. Mengetahui karakteristik gerak kapal motor tipe Madura untuk kopel heave dan pitch di gelombang regular.

I.3 PEMBATASAN MASALAH.

Penyusunan tugas akhir ini menggunakan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Sudut kemiringan untuk mengetahui kopel heave dan pitch serta tahanan kapalnya adalah sebesar 0° , 5° , dan 10° .
2. Gelombang yang digunakan untuk eksperimen kopel heave dan pitch adalah gelombang regular.
3. Kondisi saat pengujian tahanan model di air tenang.
4. Semua eksperimen dilakukan di laboratorium Hidrodinamika FTK ITS.
5. Kondisi datangnya gelombang adalah head sea.

I.4 SISTEMATIKA PENULISAN.

1. Pendahuluan.
2. Teori gelombang.
3. Dinamika kapal.
 - 3.1. Tahanan kapal.
 - 3.2. Metode teori strip untuk menentukan pendekatan gerak kopel heave dan pitch.
4. Eksperimen.
 - 4.1. Eksperimen tahanan kapal di air tenang.
 - 4.2. Eksperimen kopel heave dan pitch di gelombang regular
5. Perbandingan hasil yang dicapai secara analitis dan eksperimen.
6. Analisa dan kesimpulan.

BAB II

TEORI GELOMBANG

II.1 DEFINISI :

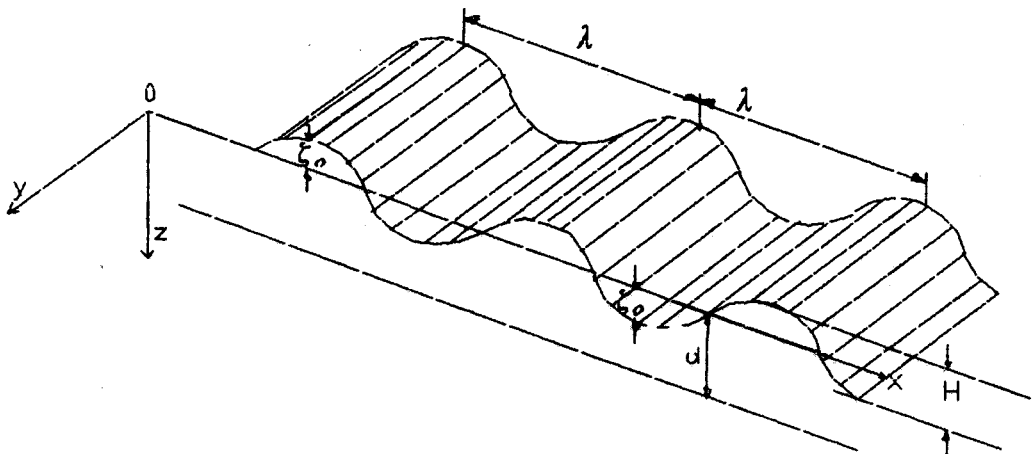
Dalam studi seakeeping perlu dipelajari terlebih dahulu masalah gelombang. Gelombang yang didefinisikan sebagai perubahan bentuk karena gerakan permukaan air. Selanjutnya setiap perkataan gelombang yang dimaksudkan adalah gelombang air laut.

Pembatasan masalah dalam tugas akhir ini untuk gerakan kopel heave dan pitch dilakukan pada gelombang regular. Pengkondisian ini dilakukan untuk lebih mudahnya mempelajari gerakan kopel heave dan pitch. Meskipun di laut terbuka gelombang laut adalah gelombang irregular. Dengan mempelajari untuk gerakan kapal di gelombang regular berarti dapat menyelesaikan persamaan gerakan dengan sangat sederhana. Hal ini dapat membantu untuk memperbaiki design kapal dengan terlebih dahulu melakukan pengujian di laboratorium hidrodinamika. Pengujian model dengan menggunakan gelombang regular dapat dilakukan di laboratorium hidrodinamika FTK ITS.

Sebelum mempelajari lebih jauh mengenai gelombang, lebih dahulu diperkenalkan istilah yang berhubungan dengan gelombang sebagai berikut :

- a. Puncak gelombang (crest) : titik di mana permukaan air berada pada elevasi tertinggi.
- b. Lembah gelombang (trough) : titik di mana permukaan air berada pada elevasi terendah.
- c. Garis datum : Garis datar permukaan air (diambil secara statistik), pada waktu air tenang.

- d. Elevasi gelombang (ζ) : Jarak suatu titik pada permukaan gelombang dengan garis datum, pada suatu waktu tertentu.
- e. Amplitudo gelombang (ζ_a) : Jarak vertikal antara titik tertinggi (puncak) atau titik terendah (lembah) dengan garis datum.
- f. Panjang gelombang (λ) : Jarak dari suatu puncak gelombang dengan puncak gelombang berikutnya.
- g. Frekuensi gelombang (ω) Banyaknya puncak (atau lembah) gelombang yang dilalui oleh suatu titik per satuan waktu.



GAMBAR II.1 Gelombang Regular

II.2 PENYEBARAN GELOMBANG.

Gelombang di lautan yang sebenarnya adalah gelombang irregular. Untuk itu diperlukan studi untuk menentukan karakteristik lautan yang bergantung ruang dan waktu. Di mana pada suatu luasan daerah dan dalam periode waktu tertentu timbul karakteristik gelombang tertentu.

Berbagai permasalahan yang berhubungan dengan gerakan kapal, diperlukan penggambaran secara matematik permukaan gelombang secara acak.

Pada teori terjadinya gelombang dikenal istilah *storm wave*, yaitu gelombang yang ditimbulkan oleh interaksi antara angin dan permukaan angin air laut. Hal tersebut melibatkan dua proses secara phisik, yaitu gesekan antara angin dengan air, dan tekanan lokal yang disebabkan oleh tiupan angin.

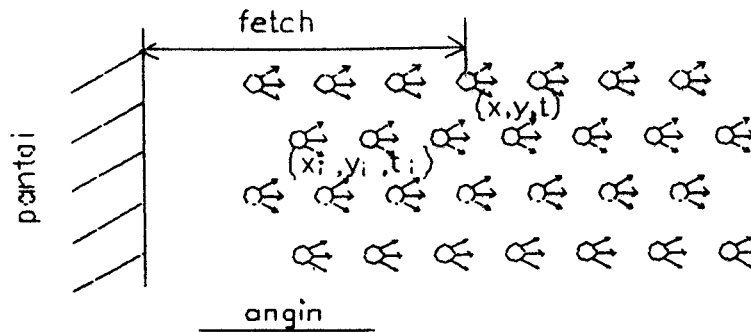
Adalah masuk akal untuk mengasumsikan bahwa total sistem storm wave merupakan hasil dari beberapa interaksi lokal yang terdistribusi sepanjang waktu dan tempat.

Bila terjadi perubahan kecepatan dan arah angin yang terus menerus, walau lambat, maka akan terjadi perubahan penggambaran secara matematik dalam waktu yang pendek. Sehingga perlu menggambarkan macam-macam gelombang terhadap waktu. Di mana melibatkan pengaruh angin terhadap gelombang secara lokal.

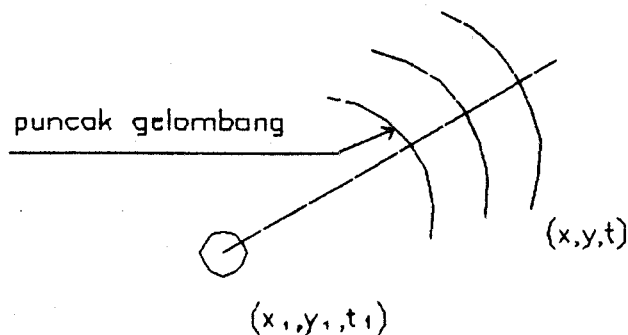
Pada gambar II.2 menggambarkan suatu storm secara umum pada suatu luasan, yang dapat diasumsikan bahwa gangguan yang terjadi disebabkan oleh interaksi antara angin dan permukaan laut, pada waktu angin mulai menilup pada suatu daerah tertentu.

Gambar II.3 menunjukan pengaruh yang terjadi pada suatu titik yang diamati (x,y,t) dari titik asal timbulnya gangguan (x,y,t) jika suatu gangguan tertentu menimbulkan suatu gelombang, maka akan berbentuk gelombang radiasi yang menyebar dari titik asal (x_i, y_i) . Pada titik observasi yang mempunyai jarak tertentu dari titik asal, timbul gelombang lokal yang mempunyai puncak gelombang yang panjang. Aksi titik asal menyebabkan sejumlah frekuensi yang berbeda, di mana masing-masing frekuensi

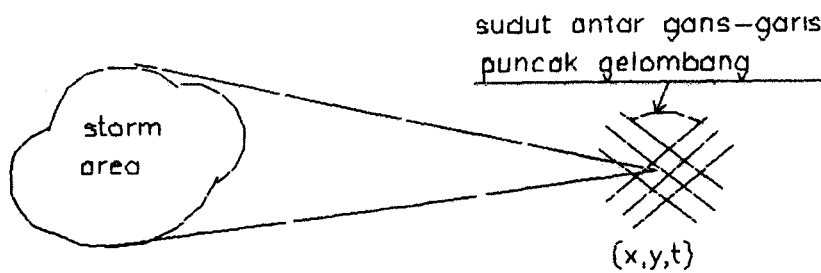
berhubungan dengan panjang gelombang yang berbeda pula. Dengan perbedaan panjang gelombang yang berbeda pula. Dengan perbedaan panjang gelombang ini, kecepatan rambat gelombang juga berbeda.



GAMBAR IL2 Storm Wave Pada Suatu Luasan



GAMBAR IL3 Penyebaran Gelombang Dari Suatu Luasan Gangguan



GAMBAR II.4 Swell Pada Jarak Tertentu Dari Storm.

Gelombang dengan panjang gelombang yang terbesar akan terlihat pada titik observasi yang pertama, akhirnya panjang gelombang akan semakin berkurang terhadap penambahan waktu.

Total displasemen gelombang (ζ) pada titik pengamatan merupakan penjumlahan semua gangguan pada suatu daerah penyelidikan.

Karena penyebaran secara angular, maka beberapa gelombang akan datang dari arah yang berbeda, kombinasi dari gelombang-gelombang ini menyebabkan gelombang mempunyai puncak gelombang yang pendek (terbatas).

Bila arah angin pada suatu daerah tertentu dibatasi (misalnya adanya pantai), maka total gelombang pada serangkaian titik penyelidikan akan mempunyai karakteristik yang berbeda, dengan titik yang mendekati batas tersebut. Sehingga akan terdapat sedikit gangguan yang menyebar pada titik penyelidikan. Jarak dari titik penyelidikan ke titik batas disebut *fetch*. Dan bila gelombang diamati pada suatu titik tertentu dan jarak tertentu dari mulainya timbul angin, gelombang baru timbul beberapa waktu kemudian. Selang waktu antara mulainya tiupan angin dan timbulnya gelombang pada titik penyelidikan disebut *duration*.

Jika kecepatan angin tetap, fetch dan duration bertambah, akhirnya keadaan laut membentuk struktur yang stabil, hal tersebut disebut *fully developed*. Setelah itu penambahan fetch dan duration tidak mempunyai pengaruh yang berarti terhadap bentuk gelombang.

Bila titik observasi di luar storm area, gambar II.4, titik observasi akan terlihat kedatangan gelombang, gelombang ini disebut *swell*. Di mana karakteristiknya tergantung jarak dan luas dari storm area. Puncak gelombang bergerak semakin menjauhi storm wave, semakin mendekati paralel. Maka pada titik penyelidikan panjang gelombang menjadi sangat panjang, karena panjang gelombang menjadi lebih besar dari panjang gelombang sebelumnya.

Karakteristik penting yang lain pada perambatan gelombang adalah pengaruh kedalaman perairan terhadap kecepatan gelombang. Sedangkan kecepatan gelombang merupakan fungsi dari panjang gelombang. Gelombang yang mempunyai panjang gelombang lebih besar, akan bergerak lebih cepat daripada gelombang yang mempunyai panjang gelombang lebih kecil.

II.3 GELOMBANG DI LAUTAN .

Gerakan gelombang di lautan sangat kompleks dan bervariasi. Untuk mengenal gerakan gelombang tersebut pada dasarnya dapat dilakukan dari dua pendekatan, yaitu ditinjau secara fisik dan secara matematis. Gelombang secara umum, tetapi hal ini tak mungkin didapat. Maka harus dibuat asumsi-asumsi penyederhanaan yang berhubungan dengan keadaan tiga permasalahan di atas.

Pendekatan pertama adalah sehubungan dengan permasalahan kecepatan partikel fluida. Maksudnya bahwa kecepatan partikel diikutkan atau tidak dalam perhitungan. Karena suku inilah yang membentuk persamaan menjadi non linier.

Terdapat tiga parameter yang penting untuk mendekati asumsi-asumsi pada teori gelombang yaitu :

- Elevasi permukaan gelombang (ζ).
- Panjang gelombang (λ).
- Kedalaman permukaan (h).

Kecepatan partikel berhubungan langsung dengan tiga parameter di atas, tetapi hubungan ini tidak sederhana. Walaupun demikian amat membantu dalam mendekati teori-teori tersebut. Sebagai contoh, bila elevasi permukaan gelombang berkurang, kecepatan partikel juga berkurang.

Akibatnya, jika tinggi gelombang (ζ) cenderung mendekati nol, kuadrat kecepatan partikel menjadi sangat kecil, sehingga dapat diabaikan, dan persamaan menjadi linear.

Dari tiga parameter di atas didapat tiga karakteristik perbandingan parameter, yaitu :

$$\begin{aligned} &\propto \frac{\zeta}{\lambda} \\ &\propto \frac{\zeta}{h} \\ &\propto \frac{\lambda}{h} \end{aligned}$$

Bila perbandingan parameter di atas bertambah, kecepatan partikel juga bertambah.

Tiga parameter di atas juga dapat digunakan untuk membedakan kedalaman perairan, berdasarkan nilai perbandingannya, yaitu :

- a. Perairan dalam, dengan $\frac{h}{\lambda} > 0,5$
- b. Perairan terbatas (sedang), dengan $0,05 < \frac{h}{\lambda}$
- c. Perairan dangkal, dengan $\frac{h}{\lambda} < 0,05$

Perbandingan-perbandingan tiga parameter di atas didapat dua teori pendekatan, yaitu :

1. Teori gelombang *amplitudo kecil* : bila $\frac{\zeta}{\lambda}$, $\frac{\zeta}{h}$, dan $\frac{\lambda}{h}$ kecil, amplitudo dan panjang gelombang adalah kecil.
2. Teori gelombang *amplitudo panjang* : bila $\frac{\zeta}{\lambda}$, $\frac{\zeta}{h}$, dan $\frac{\lambda}{h}$ besar.

Terlihat bahwa teori gelombang amplitudo kecil sesuai untuk perairan dalam dan terbatas, sedang teori gelombang panjang sesuai untuk perairan dangkal.

Diantara dua teori yang ekstrem di atas juga tidak menutup kemungkinan muncul teori-teori baru seperti : teori gelombang trochoidal, teori gelombang cnoidal, teori gelombang solidarity dan sebagainya. Hal ini berhubungan dengan asumsi-asumsi hidrodinamik dan kedalaman perairan tertentu yang ditinjau.

Asumsi-asumsi lain yang dipertimbangkan berkenaan dengan pendekatan gelombang secara matematik adalah gesekan, tekanan, dan sifat-sifat hidrodinamika air seperti pengidealan fluida air.

II.4 GELOMBANG REGULAR.

Dengan mengasumsikan bahwa gelombang terjadi pada perairan dalam, amplitudo gelombang terbatas (kecil), gelombang dianggap dua dimensi, maka didapat pendekatan matematik gelombang regular sebagai berikut :

$$\text{Wave number} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega^2}{g} \dots\dots\dots (II.1)$$

$$\text{Kecepatan potensial} \quad \phi = -\zeta_o U e^{kz} \sin k(x-U) \dots\dots\dots (II.2)$$

$$\text{Elevasi gelombang} \quad \zeta = \zeta_o \sin k(x-Ut) \dots\dots\dots (II.3)$$

$$z = \zeta_o \sin (kx - \omega t) \dots\dots\dots (II.4)$$

Kecepatan gelombang $U = \frac{\lambda}{T} = \left[\frac{g\lambda}{2\pi} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{gT}{2\pi} = \frac{g}{\omega} \dots\dots\dots (II.5)$

Panjang gelombang $\lambda = 2\pi \frac{V^2}{g} = \frac{gT^2}{2\pi} \dots\dots\dots (II.6)$

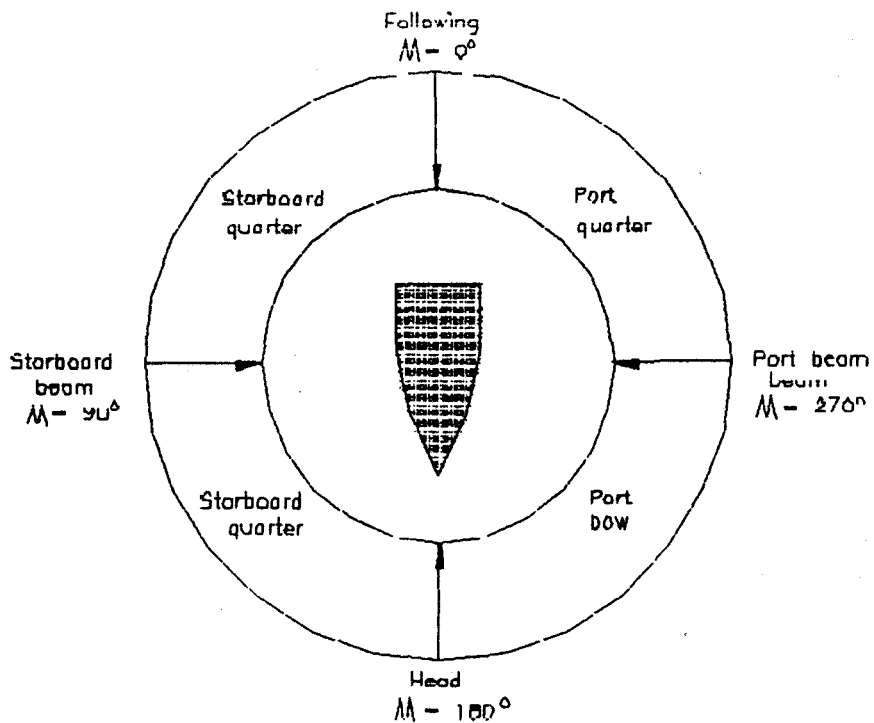
Periode gelombang $T = \left[\frac{2\pi\lambda}{g} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (II.7)$

II.5 FREKUENSI ENCOUNTERING.

Gelombang mempunyai periode, tetapi periode gelombang mungkin tidak sama dengan periode encounter (T_e), yaitu sama dengan waktu yang diperlukan oleh sebuah kapal untuk bergerak dari satu puncak gelombang ke puncak gelombang berikutnya. Periode encounter ini menunjukkan bagaimana kapal berhadapan dengan gelombang, dan pengaruh apa yang ditimbulkannya. Pada kebanyakan perhitungan kapal periode encounter ini digunakan sebagai ganti dari periode (mutlak) gelombang. Sudut encounter (μ) adalah sudut antara arah gerakan gelombang dengan arah kecepatan kapal, yang diukur dari arah gerakan gelombang searah dengan putaran jam. Sehubungan dengan sudut encounter ini (gambar III.5) , terdapat beberapa keadaan kapal pada saat kapal berlayar di gelombang.

- ▣ *Head sea*, $\mu = 180^\circ$ adalah keadaan dimana arah kapal dengan rambatan gelombang saling berlawanan.
- ▣ *Beam sea*, $\mu = 90^\circ$ adalah keadaan dimana arah kapal dengan arah gerakan gelombang membentuk sudut siku-siku.
- ▣ *Bow sea*, $90^\circ < \mu < 180^\circ$ adalah keadaan dimana arah kapal dan arah gerakan gelombang membentuk sudut miring, antara head sea dan beam sea.
- ▣ *Following sea*, $\mu = 0^\circ$ adalah keadaan dimana arah kapal dan arah rambatan gelombang bergerak searah.

- ▣ *Quartering sea*, $0^\circ < \mu < 90^\circ$ adalah keadaan dimana arah kapal membentuk sudut miring terhadap arah rambatan gelombang, antar keadaan beam sea.

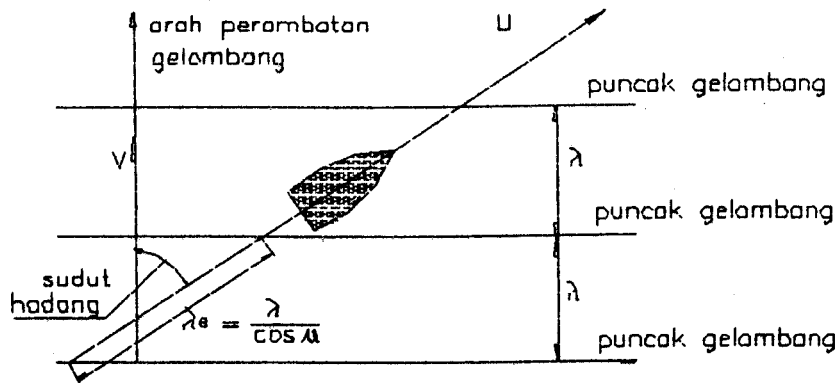


GAMBAR III.5 Definisi Sudut Hadang

Bila :

- ▣ λ = panjang gelombang.
- ▣ V = kecepatan gelombang.
- ▣ U = kecepatan kapal.

Komponen kecepatan kapal U yang searah dengan kecepatan gelombang adalah $U \cos \mu$. Kecepatan relatif kapal terhadap gelombang adalah $V - U \cos \mu$ (gambar II.6).



Gambar II.6 Kapal Bergerak Dengan Sudut Encourtering

Maka periode encounter dapat dirumuskan:

$$T_e = \frac{\lambda}{V - U \cos \mu} \dots\dots\dots (\text{ II.8})$$

Bila panjang gelombang $\lambda = V \cdot T$, dimana T adalah periode gelombang,

maka :

$$T_e = \frac{V \cdot T}{V - U \cos \mu} = \frac{T}{1 - \left(\frac{U}{V} \right) \cos \mu} \dots\dots\dots (\text{ II.9})$$

Sekarang kita mencari formula frekuensi encounter. Bila $\omega = 2 \pi / T$ dari persamaan (III.9) didapat :

$$\frac{2\pi}{\omega_e} = \frac{\frac{2\pi}{\omega}}{1 - \left(\frac{U}{V} \right) \cos \mu} \dots\dots\dots (\text{ II.10})$$

$$\omega_e = \omega \left[1 - \left(\frac{U}{V} \right) \cos \mu \right] \dots\dots\dots (\text{ II.11})$$

Bila $V = \frac{g}{\omega}$ maka :

$$\omega_s = \omega \left[1 - \left(\frac{\omega \cdot U}{g} \right) \cos \mu \right] \dots\dots\dots (11.12)$$

BAB III

DINAMIKA KAPAL

Seakeeping dan tahanan kapal merupakan contoh dari sedikit aplikasi dinamika kapal. Pengujian terhadap dinamika kapal diperlukan selama tahap awal perancangan kapal. Pada bab ini, dijelaskan tentang gerak kopel heave dan pitch serta cara mencari tahanan kapal.

Masalah tersebut di atas akan memberikan input bagi seorang perancang kapal agar lebih baik lagi merancang sebuah kapal di berbagai kondisi laut selama pelayaran.

III.1 FORMULA MENCARI TAHANAN KAPAL.

III.1.1 Umum.

Tahanan (resistance) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal.

Sebuah kapal dirancang untuk bergerak dalam air seefisien mungkin. Hal tersebut berkaitan erat dengan pemilihan bentuk badan kapal serta jenis propulsi yang dipasang agar menghasilkan daya penggerak yang mempunyai gaya dorong (trust) yang efektif. Ini dilakukan dengan cara memperendah tahanan sehingga didapatkan efisiensi propulsi yang tinggi. Untuk memprediksi besarnya tahanan kapal di air tenang, tentunya akan sejalan dengan kondisi di lautan bebas.

Suatu bentuk kapal dengan suatu tahanan kecil atau sekecil mungkin adalah menjadi tujuan perencanaan kapal, yang berarti pemakaian daya tenaga kuda dari mesin akan menjadi lebih kecil yang berakibat penghematan bahan bakar, berat mesin penggerak lebih ringan, sehingga menambah daya muat kapal tersebut.

Tenaga yang diperlukan untuk mengatasi tahanan ini, dinamakan tenaga tarik atau tenaga efektif, yang dinyatakan sebagai berikut :

$$PE = RT.VK$$

Dimana :

PE = tenaga efektif dalam K Watt (KW).

RT = tahanan total dalam K Newton (KN).

VK = kecepatan (m/detik).

Atau

$$Ehp = \frac{RT \times VK}{326}$$

Dimana:

Ehp = tenaga efektif dalam horse power Inggris (KW).

RT = tahanan total dalam lb.

VK = kecepatan dalam knot.

$$\approx \text{hp (Inggris)} \times 0,746 = \text{KW}$$

$$\approx \text{hp} \times 0,735 = \text{KW}$$

$$\approx \text{kecepatan dalam knot} \times 0,5144 = \text{m/s}$$

III.1.2. Gaya Hidrodinamika Yang Bekerja Pada Sebuah Kapal.

Bila sebuah kapal bergerak dalam air, maka terjadi gaya-gaya yang bekerja pada semua permukaan kapal tersebut. Gaya-gaya tersebut bekerja pada semua permukaan kapal tersebut. Gaya-gaya ini berupa gaya tekanan, gaya normal, dan gaya geser.

Misalkan kapal bergerak beraturan dalam cairan dengan kecepatan V_0 dalam arah sumbu x . Pada kapal, permukaan basah S dibagi beberapa luasan-luasan kecil yaitu ds . Maka pada ds akan bekerja gaya-gaya yang disebabkan oleh cairan tersebut, yang terdiri dari tegangan gesek elementer $d\tau_0$ dan gaya normal (gaya tekanan) $p ds$, maka diperoleh proyeksi gaya-gaya tersebut sebagai gaya-gaya hidrodinamika sebagai berikut :

$$R_x = \int_S [\tau_0 \cos(\tau_0, x) + p \cos(p, x)] ds$$

= tahanan total.

$$R_y = \int_S [\tau_0 \cos(\tau_0, y) + p \cos(p, y)] ds$$

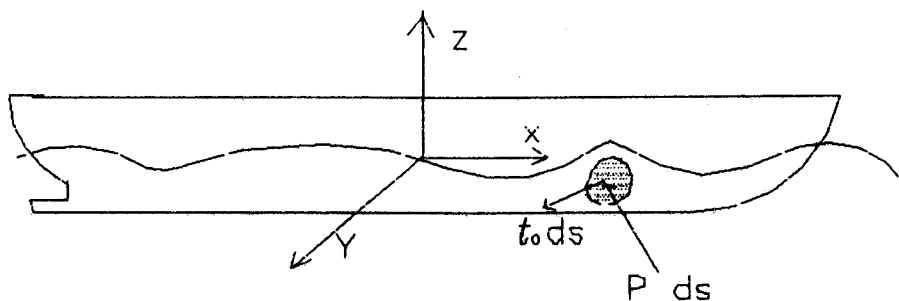
= tahanan samping.

$$R_z = \int_S [\tau_0 \cos(\tau_0, z) + p \cos(p, z)] ds$$

= gaya angkat ke atas.

Dimana :

- ✧ Pada gerakan benda cairan ideal, tegangan geser $\tau_0 = 0$.
- ✧ ds = luas elementer permukaan basah.



GAMBAR III.1 Gaya-gaya Hidrodinamika Yang Bekerja Pada Sebuah Kapal

III.1.3 Macam-macam Tahanan.

Di bawah ini macam-macam tahanan yang didefinisikan oleh ITTC antara lain :

a. Tahanan gesek (*frictional resistance*) :

Tahanan gesek adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal.

b. Tahanan sisa (*residuary resistance*) :

Tahanan sisa adalah kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari tahanan total badan kapal, suatu tahanan gesek yang merupakan hasil perhitungan yang diperoleh dengan memakai rumus khusus. Secara umum, bagian terbesar dari tahanan sisa pada kapal niaga adalah tahanan gelombang (*wavemaking resistance*).

c. Tahanan viskos (*viscous resistance*) :

Tahanan viskos adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dilepas akibat pengaruh viskos.

c. Tahanan tekanan (*pressure resistance*) :

Tahanan tekanan yang diperoleh dengan mengintegalkan tegangan normal ke seluruh permukaan benda menurut arah gerakan benda.

d. Tahanan tekanan viskos (*viscous pressure resistance*) :

Tahanan tekanan viskos adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan komponen tegangan normal akibat viskositas dan turbulensi. Kuantitas ini tak dapat langsung diukur, kecuali untuk benda yang terbenam seluruhnya; dalam hal ini, sama dengan tahanan tekanan.

e. Tahanan gelombang (*wavemaking resistant*) :

Tahanan gelombang adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan untuk menimbulkan gelombang grafitasi.

f. Tahanan pola gelombang (*wave pattern resistance*) :

Komponen tahanan yang disimpulkan dari hasil pengukuran elevasi gelombang yang jauh dari kapal atau model; dalam hal ini medan kecepatan bawah permukaan, yang berarti momentum fluida, dianggap dapat dikaitkan dengan pola gelombang dengan menggunakan yang disebut teori linier. Tahanan yang disimpulkan demikian itu tak termasuk tahanan pemecahan gelombang (*wave breaking resistance*).

g. Tahanan pemecahan gelombang (*wave breaking resistance*) :

Tahanan pemecahan gelombang adalah komponen tahanan yang terkait dengan pemecahan gelombang di buritan kapal.

h. Tahanan semprotan (*spray resistance*) :

Tahanan semprotan adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan untuk menimbulkan semprotan

Sebagai tambahan atas komponen tahanan tersebut, beberapa tahanan tambahan, R_A , perlu juga disebutkan di sini :

a. Tahanan anggota badan (*appendage resistance*):

Ini adalah tahanan dan bos poros, penyangga poros (*shaft brackets*), dan poros, lunas bilga; daun kemudi; dan sebagainya.

Dalam memakai model fisik, model tersebut umumnya dilengkapi dengan anggota badan seperti itu, dan tahanan anggota badan tersebut disertakan dalam pengukuran tahanan. Umumnya lunas

bilga tidak dipasang. Jika tanpa anggota badan maka tahanannya disebut tahanan polos (bare resistance).

b. Tahanan kekasaran (*resistance roughness*) :

Ini adalah tahanan yang disebabkan oleh kekasaran, misalnya: kekasaran akibat korosi dan fouling (pengotoran) pada badan kapal.

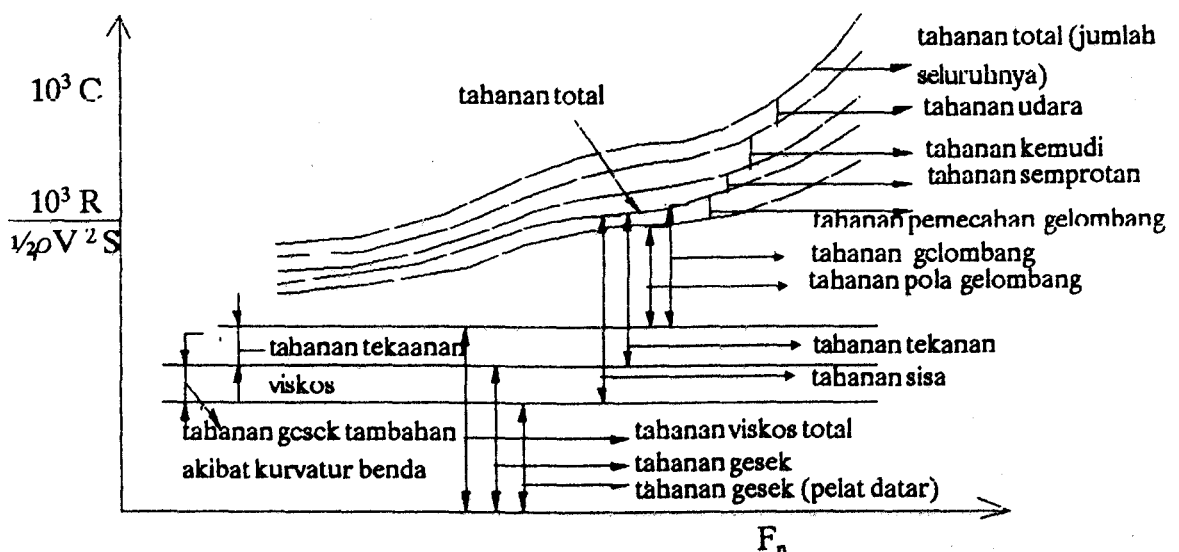
c. Tahanan udara (*air resistance*) :

Tahanan ini dialami oleh bagian badan kapal yang berada diatas permukaan air dan bangunan atas (superstructure) karena gerakan kapal yang juga menyusuri udara.

d. Tahanan kemudi (*steering resistance*) :

Untuk mempertahankan kelurusan lintasan, koreksi kedudukan umumnya dilakukan dengan memakai daun kemudi. Pemakaian daun kemudi menyebabkan timbulnya komponen tahanan tambahan yang disebut tahanan kemudi.

Sketsa mengenai komponen tahanan spesifik kapal dapat dilihat pada gambar III.2



GAMBAR III.2 Komponen Tahanan Spesifik Kapal

III.1.4 Formula Pendekatan Dalam Menentukan Tahanan Kapal di Air Tenang.

Dalam menentukan tahanan kapal, dapat dipakai 3 metode, sebagai berikut :

a. Metode kapal pembanding.

Bila memakai metode ini maka harus dipilih suatu kapal pembanding. Kapal pembanding ini harus merupakan jenis yang sama dengan yang disyaratkan dalam usulan. Selain itu, ukuran utama dan kecepatan kapal pembanding tersebut harus tidak jauh berbeda dengan yang diharapkan untuk kapal yang akan diusulkan. Koefisien admiralty A_C untuk kapal pembanding dihitung dengan memakai rumus :

$$A_C = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{P}$$

P adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal pada displasemen Δ dan kecepatan V . Kemudian daya P_p untuk kapal yang diusulkan dapat dihitung dengan :

$$P_p = \frac{\Delta_p^{2/3} \cdot V_p^3}{A_C}$$

Δ_p dan V_p masing-masing adalah displasemen dan kecepatan kapal yang diusulkan. Di sini daya yang diperlukan dianggap berbanding lurus dengan tahanan total kapal.

b. Metode statistik.

Bila memakai metode statistik, maka data propulsi dari seperangkat kapal dikumpulkan dan dipelajari statistiknya. Hasilnya dapat diberikan berupa program untuk perhitungan atau seperangkat diagram yang menyatakan daya sebagai fungsi antara lain:

▪ L/B : panjang dibagi lebar.



- ▣ B/T : lebar dibagi tinggi.
- ▣ β : koefisien midship.
- ▣ Koefisien prismatic.
- ▣ LCB : jarak memanjang dari CB atau jarak CB dari midship.
- ▣ $\frac{1}{2} \alpha_E$: 1/2 sudut masuk bentuknya kapal di bawah air.

b. *Metode eksperimen.*

Metode ini dalam menentukan tahanan kapal dilaksanakan melalui eksperimen di laboratorium hidrodinamika dengan fasilitas towing tank-nya. Arah maju model ditarik oleh kereta penarik yang dilengkapi dinamometer. Model kapal dibuat pada sebuah skala yang cocok dengan memperhatikan ukuran towing tank-nya. Model dibuat dari kayu yang permukaannya diperhalus sebaik mungkin dan dicat. Gaya tarik diketahui dengan dinamometer tahanan pada setiap kecepatan yang diteliti. Kemudian dibuatlah grafik yang berordinat besarnya tahanan model dan berabsisakan perubahan kecepatan. Kemudian grafik tersebut ditransformasikan ke kurva tahanan kapal dengan mengingat hukum perbandingan/ kesebandingan. Untuk membuat suatu model yang mempunyai kesamaan dinamik dengan kapalnya maka harus menyatakan skala gaya inersia, gaya grafitasi dan gaya viscous, yang tentunya kesamaan kinematika dan geometri telah dipenuhi. Suatu contoh digunakannya Froude number untuk menyatakan kesamaan kinematik, maka didapat skala kecepatan model adalah $(\sqrt{\lambda})$, tetapi bila digunakan Reynold number maka skalanya menjadi $(\frac{1}{\lambda})$.

Dalam menentukan tahanan kapal dengan metode eksperimen, dapat dilakukan dengan berbagai metode, misalnya : Prohaska, Hughe, Froude, Tefler, maupun ITTC 1957, dan 1978. Dalam penulisan ini, dipilih metode ITTC 1978 untuk single screw.

Sebelum mencari tahanan total kapal (RTs) terlebih dahulu dicari koefisien tahanan total model. Koefisien tahanan total sebuah kapal (CTs) tanpa lunas bilga (bilge keel) adalah :

$$CT_s = (1+k)CF_s + CR + CA + CAA \quad \text{.....(III.1)}$$

Dimana:

- k = faktor bentuk (form factor) sesuai dengan metode Prohaska yang ditentukan melalui uji tahanan model.

CF_s = koefisien tahanan gesek kapal.

$$= \frac{0,075}{(\log_{10} R_n - 2)^2} \quad \text{.....(III.2)}$$

CR = koefisien tahanan sisa model, dan kapal.

$$= CT_m - (1+k)CF_m \quad \text{.....(III.3)}$$

CF_m = koefisien gesek model kapal.

$$= \frac{0,075}{(\log_{10} R_n - 2)^2} \quad \text{.....(III.4)}$$

R_n = reynold number.

$$= \frac{V_m \cdot L_m}{\nu} \quad \text{.....(III.5)}$$

CA = kelonggaran kekasaran.

$$= [105 \left(\frac{k_s}{L_{WL}} \right)^{\frac{1}{3}} - 0,64] \times 10^{-3} \quad \text{.....(III.6)}$$

CAA = tahanan udara.

$$= 0,001 \left(\frac{A_{VT}}{S} \right) \quad \text{.....(III.7)}$$

Dimana :

- K_s adalah amplitudo semu rata-rata dari kekasaran permukaan dalam panjang gelombang 50 mm. Jika harga K_s tidak tersedia, maka dapat dipakai sebesar $150 \cdot 10^{-6}$ m.
- L_{wl} = panjang garis air.
- Viskositas kinematik (ν), lihat lampiran F.
- A_{VT} = luas melintang (atau proyeksi depan bagian kapal yang berada di atas garis air).
- S = permukaan basah badan kapal.
- C_{AA} dapat diabaikan karena AVT pada model sangat kecil.

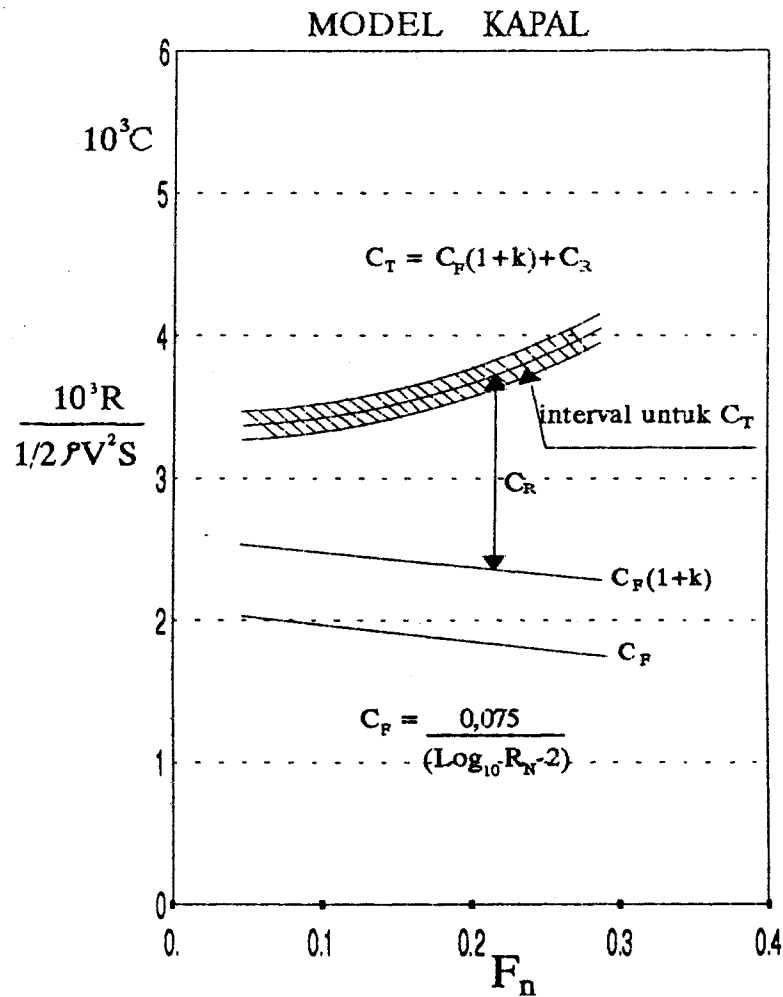
Tahanan total kapal (RT_s) adalah :

$$RT_s = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_s^2 \cdot S_s \cdot C_{T_s} \dots\dots\dots (III.7)$$

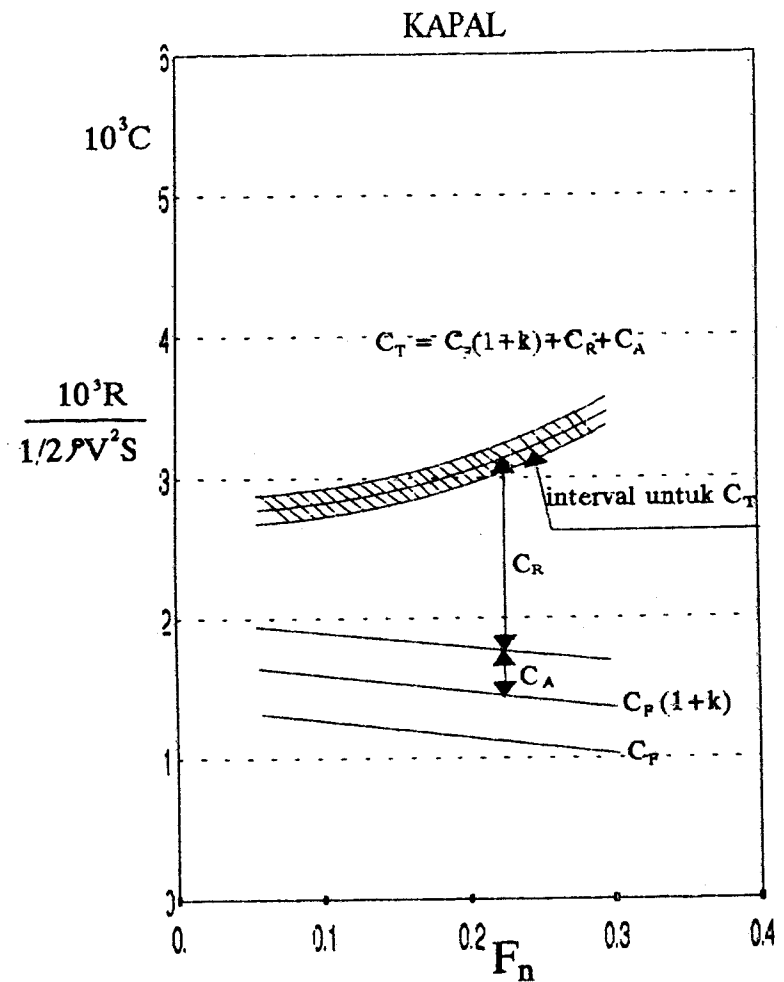
Dimana :

- RT_s = tahanan total kapal (N).
- ρ = massa jenis (kg/m^3), lihat lampiran G.
- S_s = luas permukaan basah kapal (m^2).
- V_s = kecepatan kapal (m^2).
- C_{T_s} = koefisien tahanan kapal.

Sketsa grafik untuk mencari koefisien C_R dapat dilihat pada gambar III.3. Sedangkan pada gambar III.4 adalah sketsa grafik dalam menentukan C_T pada kapal yang sebenarnya.



Gambar III.3 Sketsa Grafik
Untuk Mencari C_R



Gambar III.4 Sketsa Grafik
Dalam Mencari C_T Untuk
Kapal Yang Sebenarnya

III.2 TEORI STRIP UNTUK MENENTUKAN PERSAMAAN KOPEL HEAVE DAN PICH.

III.2.1 Umum.

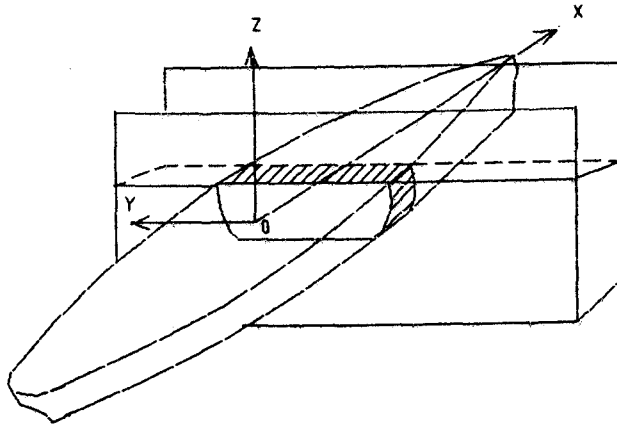
Penyelesaian persamaan gerakan kapal memerlukan data koefisien-koefisien persamaan, amplitudo, dan phase eksitasi gelombang. Hal ini dapat dilakukan secara eksperimen, tetapi cara ini bersifat laboratoris dan memerlukan perhitungan secara cermat serta membutuhkan waktu yang cukup lama.

Cara lain yang bisa adalah dengan perhitungan secara teori. Berbagai paper telah dipresentasikan dalam usaha tersebut, yang mana pada dasarnya teori-teori tersebut hampir sama. Dalam keadaan ini badan kapal dianggap merupakan kumpulan dari potongan melintang yang sangat tipis (strip-strip) berdimensi dua. Teori tersebut dikenal dengan "Teori Strip".

Asumsi-asumsi dasar dalam teori strip adalah sebagai berikut :

- a. Badan kapal adalah slender (maksudnya bahwa panjang kapal jauh lebih besar daripada lebar dan saratnya), dan lebar kapal lebih kecil daripada panjang gelombang.
- b. Badan kapal adalah rigid, sehingga tidak terjadi tekuan (defleksi) bila tidak terjadi gaya angkat yang cukup besar.
- c. Kecepatan kapal adalah sedang, sehingga tidak terjadi gaya angkat yang cukup besar.
- d. Gerakan kapal yang terjadi adalah kecil.
- e. Potongan melintang badan kapal adalah "wall sided" (tidak melengkung).

- f. Kapal berlayar pada perairan dalam, perbandingan kedalaman dan panjang gelombang sangat besar, sehingga bisa dipakai pendekatan gelombang perairan dalam.
- g. Kehadiran kapal tidak menimbulkan pengaruh terhadap gelombang datang.



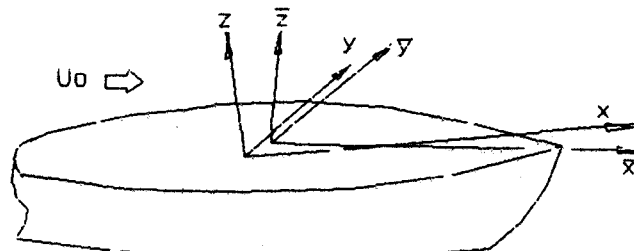
GAMBAR III.4 Potongan Strip Melintang Kapal

Gambar III.4 menunjukkan badan kapal secara tiga dimensi yang diwakili oleh irisan strip-strip dua dimensi.

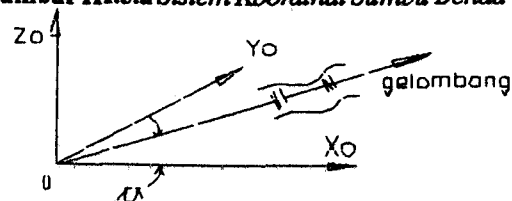
Masing-masing strip mempunyai sifat hidrodinamik seperti added mass, damping, dan stiffness. Eksitasi yang dialami oleh kapal karena pengaruh gelombang, merupakan fungsi dari sifat hidrodinamik di atas. Pada teori strip juga diasumsikan bahwa masing-masing strip mengalami gaya hidrodinamik yang sama, karena masing-masing strip merupakan bagian dari silinder yang panjang tak terbatas. Dengan demikian pengaruh tiga dimensi seperti saling interferensi antar strip, bocoran aliran di sekitar ujung kapal, dan pengaruh yang disebabkan oleh perubahan yang disebabkan oleh perubahan bentuk strip adalah diabaikan.

III.2.2 Sistem Koordinat .

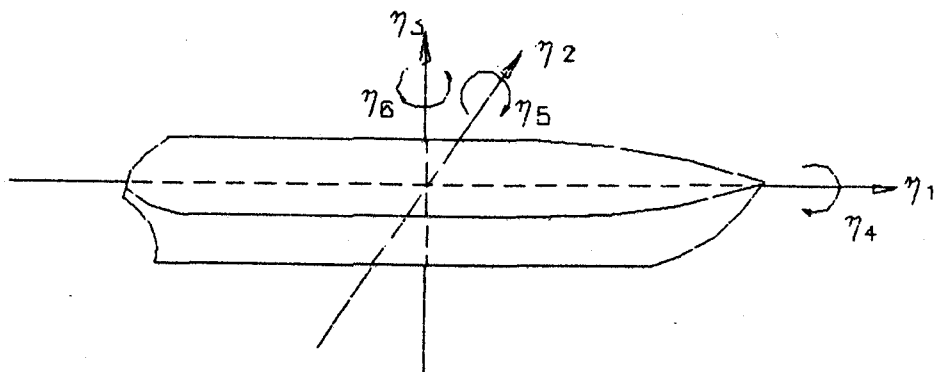
Langkah pertama adalah mendefinisikan 3 sistem sumbu. Sistem $[x_0, y_0, z_0]$ pada gambar III.5.b, diletakkan dalam hubungan yang tetap ke sumbu bumi, dengan titik asal pada tempat yang diinginkan. Sumbu z_0 adalah positif (+) ke atas dan bidang x_0 - y_0 yang mendatar (dengan titik asal 0) biasanya sejajar dengan air tenang. Sumbu x_0 diletakkan pada arah majunya/perginya kapal. Sumbu (x_0, y_0, z_0) digunakan untuk mendefinisikan sistem gelombang yang terjadi.



Gambar III.5.a Sistem Koordinat Sumbu Benda



Gambar III.5.b Sistem Koordinat Datangnya Gelombang



Gambar III.5 Sistem Koordinat Gerakan Kapal

Sistem (x,y,z) pada gambar III.5.a bergerak dengan kecepatan konstan U_0 dalam arah x_0 positif dan disebut sebagai koordinat inersial. Bidang x y juga diatur dengan air tenang dan z positif ke atas. Sumbu x bersesuaian dengan sumbu x_0 . Transformasi dari sistem (x_0,y_0,z_0) ke sistem yang bergerak diberikan oleh:

$$X_0 = x + U_0 \cdot t$$

$$Y_0 = y$$

$$Z_0 = z$$

$$\dots\dots\dots(III.8)$$

Sistem $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ (sumbu benda) terletak pada kapal dan oleh karena itu bergerak dengan semua gerakan kapal. Bidang $\bar{x} - \bar{y}$ bersesuaian dengan bidang datar air tenang kapal, dengan sumbu \bar{z} normal terhadap bidang tersebut, dan positif ke atas. Bidang $\bar{x} - \bar{y}$ adalah bidang datar yang membagi simetris pada kapal, bagian kiri dan kanan sama. Jadi titik asal terletak pada pusat bidang datar kapal.

Gerakan kapal ditentukan oleh orientasi $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ relatif terhadap sistem x,y,z . Ke-6 komponen diperlukan dalam mendefinisikan gerakan kapal, yang terdiri dari 3 translasi dan 3 rotasi. 3 translasi didefinisikan sebagai surge, way, dan heave, dan rotasi yang bersesuaian terhadap $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ dinamakan roll, pitch, dan yaw. gerakan tersebut dapat diterangkan sebagai berikut :

1. Surge (η_1), adalah gerakan maju dan mundur kapal searah dengan perjalanannya.
2. Sway (η_2), adalah gerakan ke arah kanan dan kiri.
3. Heave (η_3), adalah gerakan ke arah atas dan bawah. Arah positif bila ke atas. Heave merupakan gerak osilasi (dapat bergerak ke posisi keseimbangan kembali).

4. Roll (η_4), adalah gerakan angular yang memutar ke kanan dan kiri terhadap sumbu longitudinal kapal. Roll, juga merupakan gerak osilasi.
5. Pitch (η_5), adalah gerakan angular yang memutar ke depan dan belakang terhadap sumbu transversal kapal. Ketika suatu kapal mengalami pitch, kapal dapat mengalami trim ke belakang dan trim ke depan. Pitch merupakan gerak osilasi.
6. Yaw (η_6), adalah gerakan angular yang memutar ke kanan dan kiri terhadap sumbu vertikal.

Bila kapal bergerak pada besarnya sudut μ ke gelombang regular, frekuensi osilasi akan dirubah ke frekuensi gelombang encounter.

$$\omega_e = \omega \left[1 - \left(\frac{\omega \cdot U}{g} \right) \cos \mu \right] \dots\dots\dots (III.9)$$

Bila datangnya gelombang dari depan (head sea $\mu = 180^\circ$), frekuensi encounter akan lebih tinggi dari pada frekuensi absolut.

III.2.3 Dasar Persamaan Gerakan.

Seperti dalam hal-hal yang sederhana pada suatu kapal dalam kondisi head sea, titik awal yang ditentukan pada persamaan gerakan untuk ke-6 derajat kebebasan menggunakan hukum Newton II, dimana dituliskan sebagai sistem kordinat inersial. Gaya dan momen pada benda semuanya didefinisikan pada sistem sumbu benda. Jadi transformasi digunakan supaya dapat dituliskan persamaan gerakan dalam sistem sumbu benda. Transformasi ini menghasilkan apa yang disebut dengan persamaan Euler untuk gerakan pada suatu benda rigid. Bentuk umum dari persamaan linier dasar dalam ke-6 derajat kebebasan menggunakan sumbu benda adalah sebagai berikut :

$$\sum_{k=1}^6 \Delta_{jk} \ddot{\eta}_k(t) = F_j(t) \quad j=1,2,\dots,6 \quad \dots\dots\dots (III.10)$$

Dimana :

- Δ_{jk} komponen matrik inersia , dimana didalamnya berisi massa dan momen inersia dan semua kemungkinan kopelnya.
- $\ddot{\eta}_k$ percepatan dalam arah ke-k.

Jadi persamaan untuk ke-6 gerakan secara eksplisit adalah :

$$\begin{aligned} \Delta (\ddot{\eta}_1 + \bar{Z}_c \ddot{\eta}_5) &= F_1 && \text{(surge)} \\ \Delta (\ddot{\eta}_2 - \bar{Z}_c \ddot{\eta}_4 + \bar{X}_c \ddot{\eta}_6) &= F_2 && \text{(sway)} \\ \Delta (\ddot{\eta}_3 + \bar{Z}_c \ddot{\eta}_5) &= F_3 && \text{(heave)} \\ I_{44} \ddot{\eta}_4 - I_{46} \ddot{\eta}_6 - \Delta \bar{Z}_c \ddot{\eta}_2 &= F_4 && \text{(roll)} \\ I_{55} \ddot{\eta}_5 + \Delta (\bar{Z}_c \ddot{\eta}_1 - \bar{X}_c \ddot{\eta}_3) &= F_5 && \text{(pitch)} \\ I_{66} \ddot{\eta}_6 - I_{64} \ddot{\eta}_4 + \Delta \bar{X}_c \ddot{\eta}_2 &= F_6 && \text{(yaw)} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (III.11)$$

Dimana :

- $F_j(t)$, $j=1,2,3$ adalah gaya total dalam arah $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$, secara berturut-turut.
- $F_j(t)$, $j=4,5,6$ adalah momen total dalam arah $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$, secara berturut-turut.
Momen positif pada arah aturan tangan kanan.
- Δ adalah massa total kapal.
- I_{jj} , $j=4,5,6$ adalah momen inersia mengitari sumbu $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$, berturut-turut
- I_{46} adalah hasil inersia roll-yaw = I_{64}
- $(\bar{X}_c, 0, \bar{Z}_c)$ adalah koordinat dari CG kapal pada sistem $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$.
- $\ddot{\eta}_j(t)$ percepatan ke arah derajat kebebasan j , dimana $j = 1,2,3, \dots, 6$ yang menyatakan surge, sway, heave, roll, pitch, dan yaw, secara berurutan.

III.2.4 Persamaan Gerak Kopel Heave Dan Pitch.

Persamaan gerak didasarkan pada hukum Newton, yang menyatakan bahwa untuk gaya translasi pada suatu benda adalah perkalian masa dengan percepatan ($m \times a$), dan untuk bentuk rotasional gaya momen pada benda adalah perkalian masa momen inersia dengan percepatan sudut. Jadi untuk heave yang terletak pada titik CG kapal, didefinisikan sebagai berikut :

$$\Delta \ddot{\eta}_3 = F_3 \quad \text{.....(III.12)}$$

Dan untuk pitch didefinisikan sebagai :

$$I_{55} \ddot{\eta}_5 = F_5 \quad \text{.....(III.13)}$$

Dimana :

- ❑ Δ = massa (displasemen).
- ❑ I_{55} = momen inersia massa terhadap sumbu y.
- ❑ F_3 dan F_5 menyatakan gaya dan momen total.

Untuk hal yang sederhana gaya dan momen total berisikan gaya-gaya pada fluida, gaya tersebut adalah hidrostatis dan hidrodinamik. Gaya grafitasi heave yang diimbangi oleh gaya buoyancy pada air tenang, dapat diartikan posisi $\eta_3 = 0$. Dalam teori linier gaya fluida dan momen terbagi atas gaya-gaya yang menyebabkan gerakan gelombang pada suatu kapal yang diam, contoh gaya itu adalah gaya exitasi dan gaya radiasi, yang menyebabkan gaya pada kapal dimana diasumsikan bergerak di air tenang. Gaya-gaya itu adalah :

$$F_3(t) = F_{EX_3}(t) + F_{H_3}(t)$$

$$F_5(t) = F_{EX_5}(t) + F_{H_5}(t)$$

$$\text{.....(III.14)}$$

Eksitasi untuk gelombang sinusoidal dinyatakan sebagai berikut :

$$F_{EX_3}(t) = |F_{EX_3}| \cos(\omega \cdot t + \varepsilon_3)$$

$$F_{EX_5}(t) = |F_{EX_5}| \cos(\omega \cdot t + \varepsilon_5)$$

.....(III.15)

Dimana :

- $|F_{EX_3}|$ adalah amplitudo gaya heave
- $|F_{EX_5}|$ adalah amplitudo momen pitch
- ε_3 dan ε_5 : sudut fase antara eksitasi dan gelombang.

Dalam teori linier, gaya radiasi hidrodinamika menyebabkan kopel gerakan kapal sehingga terjadi keseimbangan ke arah displasemen, kecepatan dan percepatan vertikal. Untuk gerak sinusoidal gaya dan momen dapat ditulis sebagai :

$$F_{H_3} = - [A_{33}(\omega) \ddot{\eta}_3 + B_{33}(\omega) \dot{\eta}_3 + C_{33} \eta_3$$

$$+ A_{35}(\omega) \ddot{\eta}_5 + B_{35}(\omega) \dot{\eta}_5 + C_{35} \eta_5]$$

$$F_{H_5} = - [A_{53}(\omega) \ddot{\eta}_3 + B_{53}(\omega) \dot{\eta}_3 + C_{53} \eta_3$$

$$+ A_{55}(\omega) \ddot{\eta}_5 + B_{55}(\omega) \dot{\eta}_5 + C_{55} \eta_5]$$

.....(III.16)

Dimana :

- $A_{jk}(\omega)$ dan $B_{jk}(\omega)$ adalah koefisien yang merupakan fungsi frekuensi.
- Adanya tanda negatif untuk mempermudah persamaan gerak.

Dua notasi di bawah koefisien (A_{jk}, B_{jk}, C_{jk}) melambangkan 6 derajat arah kebebasan gerak. Misalkan A_{33} , merupakan koefisien tanpa kopel dalam bentuk heave (3) A_{35} , merupakan koefisien kopel antara heave (3) dan pitch (5).

Di akhir persamaan gerakan untuk heave dan pitch kapal di gelombang regular pada kondisi head sea didapat dengan menggabungkan persamaan (III.12), (III.13), (III.14), (III.15), (III.16). Gaya radiasi diletakkan pada sebelah kiri sehingga menjadi seperti pada persamaan (III.17) :

$$\begin{aligned}
 & (\Delta + A_{33}) \ddot{\eta}_3 + B_{33} \dot{\eta}_3 + C_{33} \eta_3 + A_{35} \ddot{\eta}_5 + B_{35} \dot{\eta}_5 + C_{35} \eta_5 \\
 & = |F_{EX3}| \cos(\omega \cdot t + \varepsilon_3) \\
 & (I_{55} + A_{55}) \ddot{\eta}_5 + B_{55} \dot{\eta}_5 + C_{55} \eta_5 + A_{53} \ddot{\eta}_3 + B_{53} \dot{\eta}_3 + C_{53} \eta_3 \\
 & = |F_{EX5}| \cos(\omega \cdot t + \varepsilon_5) \\
 & \dots\dots\dots(III.17)
 \end{aligned}$$

Dimana :

- A_{jk} adalah added mass yang sebanding dengan percepatan vertikal
- B_{jk} adalah damping hidrodinamika yang sebanding dengan kecepatan vertikal.
- C_{jk} adalah gaya dan momen restoring.

Persamaan (III.17) merupakan persamaan kopel dengan dua derajat kebebasan sistem massa, pegas, dan damping . Terdapat masa, damping dan pegas (spring) pada sebelah kiri dan eksitasi pada sebelah kanan.

Batas sebelah kanan dari persamaan gerak menyatakan eksitasi gaya dan momen. $|F_{EX5}|$ dan $|F_{EX3}|$ merupakan amplitudo gaya harmonik dan ε_3 dan ε_5 menyatakan sudut phase.

Jadi pada persamaan (III.17) ada dua yang tak diketahui η_3 dan η_5 dimana dapat diselesaikan dengan mudah untuk kopel heave dan pitch dalam kondisi head sea.

Dalam teori linier, respon harmonik kapal $\eta_j(t)$ akan diseimbangkan ke amplitudo gaya eksitasi dan pada frekuensi yang sama tetapi dalam phase yang berbeda. Kosekuensinya gerakan kapal akan mempunyai bentuk :

$$\eta_j(t) = |\bar{\eta}_j| \cos(\omega_e t + \sigma_j) = \bar{\eta}_j e^{i\omega_e t}$$

$$\dot{\eta}_j(t) = i\omega_e \bar{\eta}_j e^{i\omega_e t} \quad j = 3, 5$$

$$\ddot{\eta}_j(t) = -\omega_e^2 \bar{\eta}_j e^{i\omega_e t}$$

.....(III.18)

Dimana :

- $\bar{\eta}_3$ adalah respon amplitudo dalam bentuk kompleks.
- $j = 3$ menyatakan heave , $j = 5$ menyatakan pitch.
- $|\bar{\eta}_j|$ adalah besarnya harga mutlak dari respon amplitudo.
- σ_j adalah perbedaan fase respon.

Amplitudo kompleks adalah bilangan kompleks yang berisi besar dan phase dari respon. Suatu contoh, besar dan phase respon heave diberikan oleh:

$$\bar{\eta}_3 = \bar{\eta}_{3R} + i \bar{\eta}_{3I} \quad \text{.....(III.19)}$$

Dimana :

- $\bar{\eta}_{3R}$ adalah bagian real dari $\bar{\eta}_3$
- $\bar{\eta}_{3I}$ adalah bagian imajiner dari $\bar{\eta}_3$
- $|\bar{\eta}_{3I}|$ adalah besar dari respon amplitudo heave dan sama dengan $\sqrt{\bar{\eta}_{3R}^2 + \bar{\eta}_{3I}^2}$
- σ_3 adalah sudut fase dari respon atau arctangen ($\bar{\eta}_{3I} / \bar{\eta}_{3R}$).

Gaya dan momen eksitasi dapat dinyatakan sebagai:

$$F_{EX3}(t) = |F_{EX3}| \cos(\omega_e t + \varepsilon_3) = F_{EX3} e^{i\omega_e t}$$

$$F_{EX5}(t) = |F_{EX5}| \cos(\omega_e t + \varepsilon_5) = F_{EX5} e^{i\omega_e t}$$

.....(III.20)

Dimana:

- ▣ F_{EX_3} dan F_{EX_5} merupakan amplitudo gaya dan momen eksitasi dalam bentuk kompleks, keduanya berisikan amplitudo dan phase.

Disubsitusi ke persamaan (III.20) dan $e^{i\omega_e t}$ dihilangkan, akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & (-\omega_e^2 (\Delta + A_{33}) + i\omega_e B_{33} + C_{33}) \bar{\eta}_3 \\ & + (-\omega_e^2 A_{35} + i\omega_e B_{35} + C_{35}) \bar{\eta}_5 = F_{EX_3} \quad (\text{heave}) \\ & \dots\dots\dots (III.21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (-\omega_e^2 (I_{55} + A_{55}) + i\omega_e B_{55} + C_{55}) \bar{\eta}_5 \\ & + (-\omega_e^2 A_{53} + i\omega_e B_{53} + C_{53}) \bar{\eta}_3 = F_{EX_5} \quad (\text{pitch}) \\ & \dots\dots\dots (III.22) \end{aligned}$$

Dimana:

- ▣ A_{jk} adalah koefisien added mass dalam arah ke j yang diakibatkan gerakan ke k
- ▣ B_{jk} adalah koefisien damping dalam arah ke j yang diakibatkan gerakan ke k.
- ▣ C_{jk} adalah koefisien gaya restoring dalam arah ke j yang diakibatkan gerakan ke k.
- ▣ F_{EX_j} adalah amplitudo gaya dan momen exciting dalam arah ke j.

Penentuan koefisien amplitudo gaya dan momen eksitasi diselesaikan dengan penerapan teori strip. Dimana kapal dibagi dalam strip-strip melintang. Added mass dan damping dari masing-masing strip mudah dihitung dengan menggunakan teori hidrodinamika 2 dimensi atau dengan persamaan eksperimen 2 dimensi. Untuk kopel heave dan pitch pada kondisi head sea, perhitungan koefisien dan gaya eksitasi dapat dilihat pada tabel III.1.

Tabel III.1

$$A_{33} = \int a_{33} dx$$

$$A_{35} = - \int x a_{33} dx - \frac{U_0}{\omega_0^2} B_{33}$$

$$A_{53} = - \int x a_{33} dx + \frac{U_0}{\omega_0^2} B_{33}$$

$$A_{55} = \int x^2 a_{33} dx + \frac{U_0^2}{\omega_0^2} A_{33}$$

$$B_{33} = \int b_{33} dx$$

$$B_{35} = - \int x b_{33} dx + U_0 A_{33}$$

$$B_{53} = - \int x b_{33} dx - U_0 A_{33}$$

$$B_{55} = \int x^2 b_{33} dx + \frac{U_0^2}{\omega_0^2} B_{33}$$

$$C_{33} = \int c_{33} dx = \rho g \int B(x) dx$$

$$C_{35} = C_{53} = - \int x c_{33} dx = - \rho g \int x B(x) dx$$

$$C_{55} = \int x^2 c_{33} dx = \rho g \int x^2 B(x) dx$$

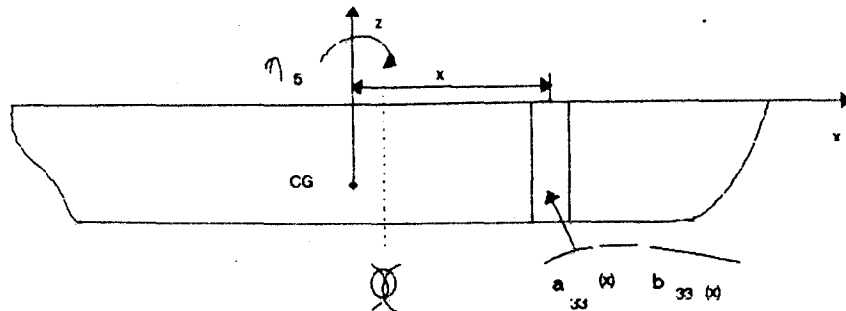
$$F_{EX3} = \zeta \int_L e^{ikx} e^{-kT^*(x)} [c_{33} - \omega_0 (\omega_0 a_{33} - i b_{33})] dx$$

$$F_{EX5} = - \zeta \int_L e^{ikx} e^{-kT^*(x)} [x (c_{33} - \omega_0 (\omega_0 a_{33} - i b_{33}))] dx \\ + \zeta \int_L e^{ikx} e^{-kT^*(x)} \frac{U_0}{i \omega_0^2} \omega_0 (\omega_0 a_{33} - i b_{33}) dx$$

Dimana :

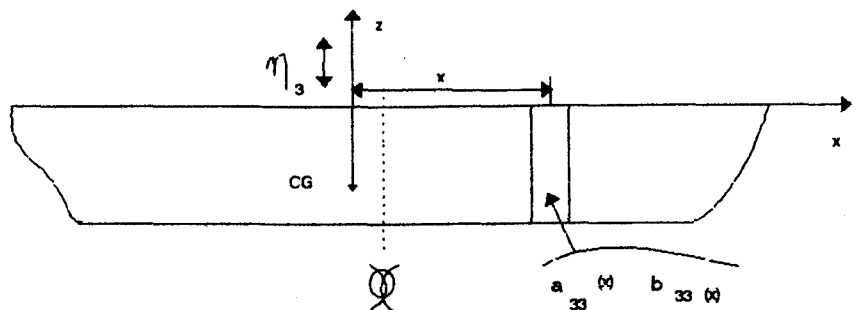
- a_{33} = added mass perseksi.
- b_{33} = damping heave perseksi.
- c_{33} = gaya restoring perseksi = $\rho \cdot g \cdot B(x)$
- $B(x)$ adalah waterline beam perseksi.
- $S(x)$ adalah luas perseksi.
- $T^*(x)$ adalah rata-rata tinggi perseksi atau $\frac{S(x)}{B(x)}$
- ζ adalah amplitudo gelombang yang terjadi.

- A_{35} = Koefisien added mass dari gaya heave (3) akibat unit percepatan pitch (5), lihat gambar III.6.
- B_{35} = Koefisien damping dari gaya heave (3) akibat unit kecepatan pitch (5), lihat gambar III.6.
- C_{35} = koefisien restoring dari gaya heave (3) akibat unit gerakan pitch (5).



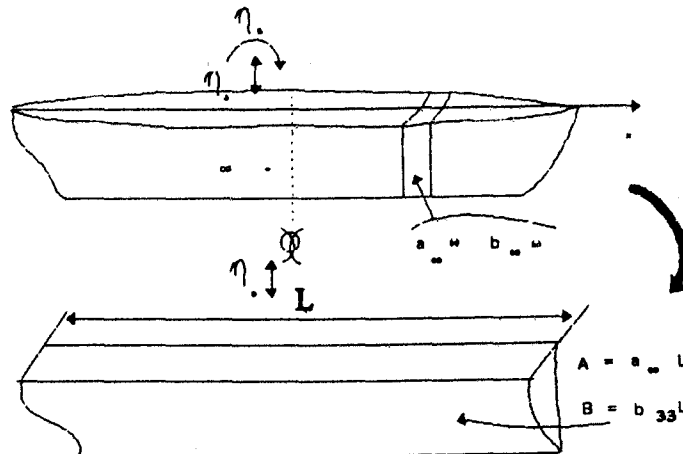
GAMBAR III.6 Koefisien Gaya Heave Perseksi (Added Mass dan Damping) Akibat Percepatan dan Kecepatan Pitch.

- A_{53} = Koefisien added mass dari momen pitch (5) akibat unit percepatan heave (3), lihat gambar III.7.
- B_{53} = Koefisien damping dari momen pitch (5) akibat unit kecepatan heave (3), lihat gambar III.7.
- C_{53} = koefisien restoring dari momen pitch (5) akibat unit gerakan heave (3).



GAMBAR III.7 Koefisien Momen Pitch Perseksi (added Mass dan Damping) Akibat Percepatan dan Kecepatan Heave.

- ▣ A_{33} = Koefisien added mass dari gaya heave (3) akibat unit percepatan heave (3), lihat gambar III.8.
- ▣ B_{33} = Koefisien damping dari gaya heave (3) akibat unit kecepatan heave (3) lihat gambar III.8.
- ▣ C_{33} = koefisien restoring dari gaya heave (3) akibat unit gerakan heave (3).



GAMBAR III.8 Koefisien Aded mass dan Damping Gaya Heave Akibat Percepatan dan Kecepatan heave.

- ▣ A_{55} = Koefisien added mass dari momen pitch (5) akibat unit percepatan pitch (5).
- ▣ B_{55} = Koefisien damping dari momen pitch (5) akibat unit kecepatan pitch (5).
- ▣ C_{55} = Koefisien restoring dari momen pitch (5) akibat unit gerakan pitch (5).
- ▣ F_{EX3} = Amplitudo gaya exiting dalam arah heave.
- ▣ F_{EX5} = Amplitudo momen exiting dalam arah pitch.

Penyelesaian Persamaan (III.21) dan (III.22) untuk amplitudo kompleks, persamaan-persamaan tersebut dapat ditulis kembali menjadi :

$$P \bar{\eta}_3 + Q \bar{\eta}_5 = F_{EX3}$$

$$R \bar{\eta}_3 + S \bar{\eta}_5 = F_{EX5}$$

.....(III.23)

Dimana:

$$\square P = -\omega_e^2 (\Delta + A_{33}) + i\omega_e B_{33} + C_{33}$$

$$\square Q = -\omega_e^2 A_{35} + i\omega_e B_{35} + C_{35}$$

$$\square R = -\omega_e^2 A_{53} + i\omega_e B_{53} + C_{53}$$

$$\square S = -\omega_e^2 (I_{55} + A_{55}) + i\omega_e B_{55} + C_{55}$$

Penyelesaian persamaan kopel adalah sebagai berikut :

$$\bar{\eta}_3 = \frac{F_{EX3} S - F_{EX5} Q}{PS - QR}$$

$$\bar{\eta}_5 = \frac{F_{EX5} P - F_{EX3} R}{PS - QR}$$

.....(III.24)

Persamaan (III.24) dapat diselesaikan dalam bentuk kompleks sehingga menghasilkan :

$$\bar{\eta}_3 = \eta_3 e^{i\delta} = \eta_3 (\cos \delta + i \sin \delta)$$

$$\bar{\eta}_5 = \eta_5 e^{i\varepsilon} = \eta_5 (\cos \varepsilon + i \sin \varepsilon)$$

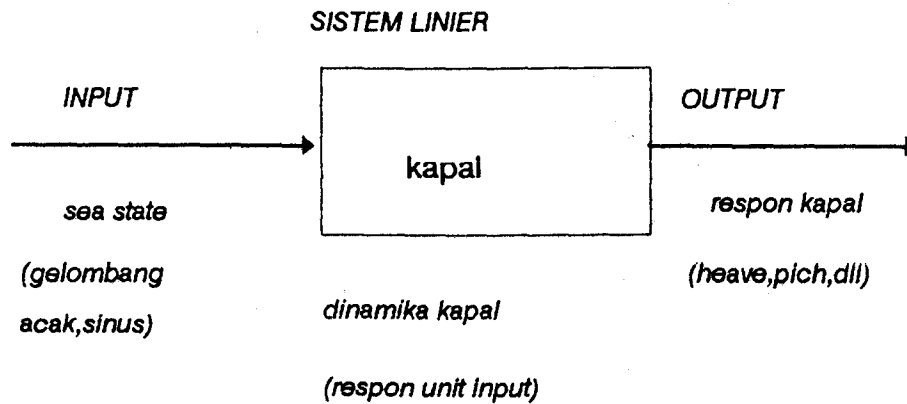
.....(III.25)

Dimana :

$\square \eta_3$ dan δ adalah amplitudo heave dan sudut phase.

$\square \eta_5$ dan ε adalah amplitudo sudut pitch dan sudut phase.

Jadi secara keseluruhan penyelesaian persamaan gerakan kapal dapat dinyatakan pada gambar sebagai berikut:



INPUT : Spektrum Input.

SISTEM LINIER : Respon Amplitudo Operator.

OUTPUT : Respon Spektrum.

BAB IV

EKSPERIMEN

Pada bab III telah dijelaskan, penyelesaian persamaan gerakan kopel heave dan pitch dengan memakai teori strip serta cara menentukan tahanan kapal dengan menggunakan Formula ITTC 1978. Dalam bab ini dibahas cara pelaksanaan eksperimen-eksperimen tersebut. Eksperimen kopel heave dan pitch serta tahanan model dilakukan di laboratorium FTK-ITS, dengan menggunakan model kapal layar tradisional tipe Madura.

Skala perbandingan model dengan kapal adalah 1:10. Sifat kapal layar motor tipe Madura bila berlayar kadang-kadang miring, karena itu model kapal pada percobaan dimisalkan dibuat kemiringan/oleng pada sudut 0° , 5° dan 10° . Hal ini dikerjakan dengan cara memberi balas tetap supaya terjadi kemiringan sebesar sebesar sudut di atas.

IV.1 EKSPERIMEN TAHANAN KAPAL DI AIR TENANG.

Pengujian tahanan (resistance test) yang dilaksanakan di laboratorium memakai model yang terbuat dari kayu. Agar terjadi turbulen di daerah fore perpendicular (FP) model kapal ditempel pasir dengan tujuan agar terjadi aliran turbulen. Pada resistance test, model dilengkapi dengan alat ukur berupa sebuah load cell type dinamometer. Model ditarik dengan towing carriage (kereta penarik).

Kondisi pada setiap penarikan, diusahakan pada keadaan air tenang (tak bergelombang).

Dalam percobaan ini, besarnya tahanan total model (RT_m) pada setiap kecepatan dapat diketahui. Juga, dapat dihitung besarnya koefisien tahanan total model (CT_m) pada setiap harga F_{nm} (lihat persamaan III.1). Percobaan ini, diulang beberapa kali dengan kecepatan yang bervariasi untuk menghasilkan kurva yang baik (hampir mulus).

$$F_{nm} = \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot l_m}} \quad \dots\dots\dots(III.1)$$

Dimana :

- ✧ F_{nm} = froude number
- ✧ V_m = kecepatan model (m/s).
- ✧ l_m = panjang model yang tercelup dalam air (m).
- ✧ g = percepatan grafitasi (m / s^2).

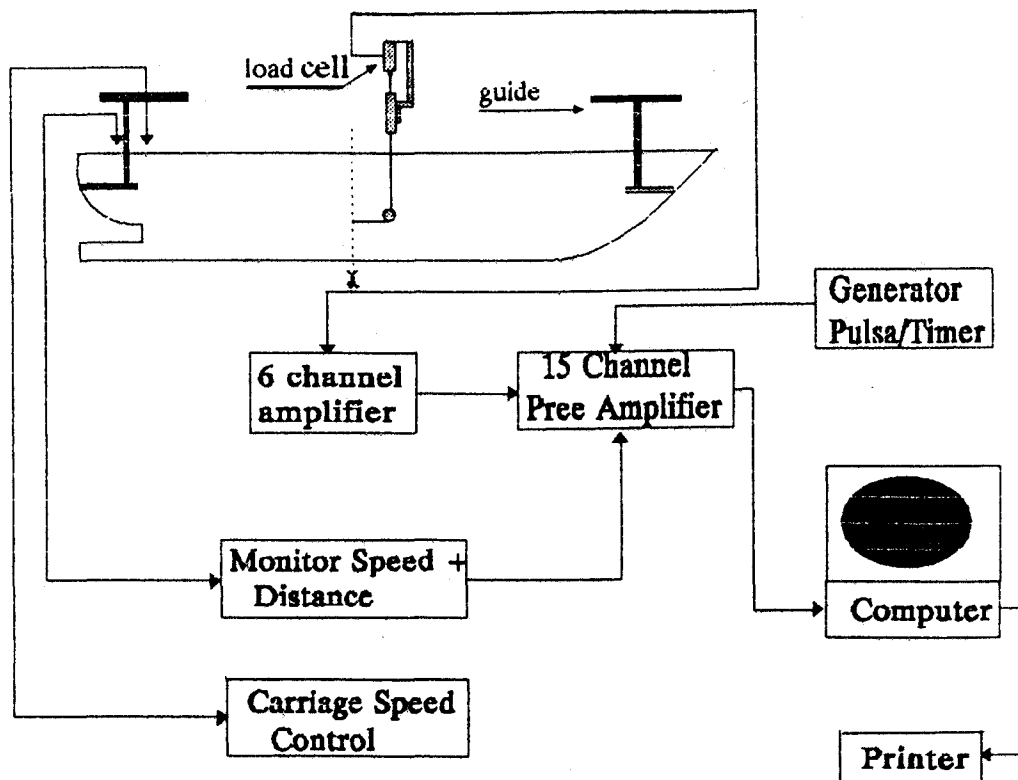
IV.1.2 Menentukan Kalibrasi Pada Load Cell.

Sebelum dilakukan percobaan, terlebih dahulu melakukan kalibrasi peralatan yang dipakai untuk tes. Hal tersebut dilaksanakan untuk mengetahui besarnya angka konversi. Hasil pengukuran yang diperoleh adalah berupa voltage. Dari kalibrasi akan diperoleh angka konversi untuk merubah satuan voltage menjadi satuan gaya.

Untuk menentukan kalibrasi pada load cell, load cell diberi bermacam-macam beban gaya. Pemberian bermacam-macam beban gaya ini dimaksudkan untuk mencari angka konversi data.

Kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan konstanta kalibrasi yang paling tepat untuk beban input yang terjadi. Jadi, kita dapat melakukan kalibrasi pada perangkat, agar perangkat dapat menentukan besarnya voltage untuk setiap gaya yang bersangkutan dengan benar.

IV.1.3 Peralatan Yang Digunakan Dalam Uji Tahanan Model.



GAMBAR IV.1 Peralatan Uji Tahanan Model

Pada gambar IV.1 dapat dilihat peralatan-peralatan yang digunakan dalam uji tahanan model serta hubungan antara peralatan-peralatan tersebut.

Keterangan gambar di atas adalah:

1. Gaya yang bekerja pada load cell diubah menjadi besaran listrik oleh load cell.
2. Tegangan yang dihasilkan oleh load cell masih sangat kecil, maka perlu diperbesar dengan menggunakan H.B.M. amplifier.
3. Dari amplifier keluarlah sinyal analog. Amplifier ini kemudian dihubungkan ke rangkaian analog to digital converter (A.D.C.). Fungsi

rangkaian ini adalah mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital (sinyal yang berbentuk balok). Pengubahan ini dimaksudkan dapat diproses ke dalam komputer.

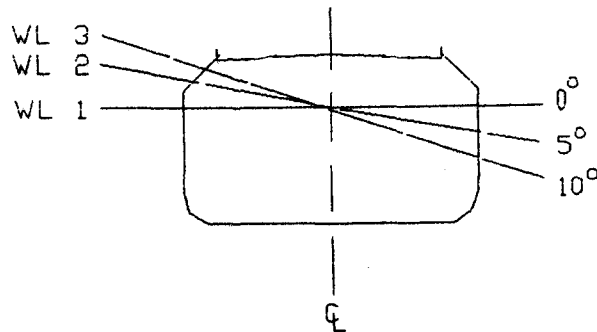
4. Generator pulsa/timer dihubungkan juga ke rangkaian analog to digital converter (A.D.C.). Fungsi generator pulsa adalah sebagai pewaktu (timer) dengan jangkauan sebesar 4 HZ. Berarti kita dapat mengambil data 32 data perdetik yang dapat diatur sampai kurang dari 4 detik.
5. Dengan menggunakan rangkaian monitor speed dan distance, kecepatan yang dihasilkan oleh kereta serta jaraknya dapat dimonitor di sini. Kemudian untuk kelengkapan data besaran tegangan, kecepatan kereta dimasukkan ke dalam rangkaian A.D.C. untuk nantinya dicampurkan dengan sinyal-sinyal lain yang diperlukan.
6. Data-data digital yang dihasilkan oleh rangkaian A.D.C. kemudian diproses secara 8 bit oleh komputer. Hasil olahan komputer ini bisa disajikan dalam bentuk hard copy melalui printer (pencetak). Data hasil percobaan berupa informasi tentang kecepatan model maupun kapal, tahanan total model maupun kapal, koefisien total model maupun kapal, dan Froude Number.

IV.1.4 Langkah-Langkah Percobaan Tahanan Model Kapal.

Langkah-langkah percobaan adalah sebagai berikut :

1. Kapal diuji dengan kemiringan tetap sebesar sudut 0° , 5° , dan 10° (gambar IV.2). Oleh karena itu terlebih dahulu dibuatkan garis sarat model yang tercelup dalam air baik sarat kapal tegak maupun

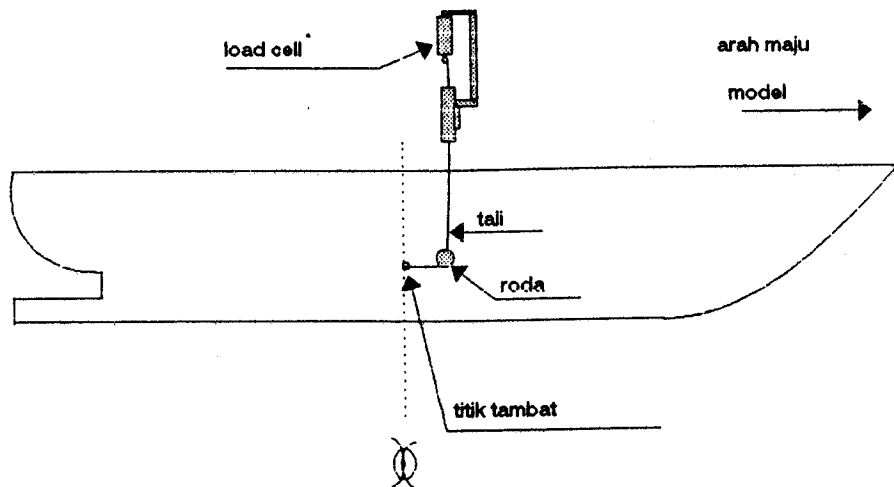
miring untuk memudahkan pengetesan posisi dan displasemen model kapal.



GAMBAR IV.2 Model Yang Dimiringkan Pada 0° , 5° , dan 10° terhadap center line

2. Alat pengikat model (guide) disetimbangkan dulu agar tak mempengaruhi model, dengan menyetel guide sampai mencapai keadaan horisontal.
3. Pengikat model (guide) dipasang pada buritan maupun haluan dan diikat kuat.
4. Setelah guide dipasang, tali yang menghubungkan load cell dengan badan kapal dihubungkan dan dilewatkan roda agar arah gayanya tidak berubah (lihat gambar IV.3). Posisi tali diusahakan sama dengan posisi propeller. Untuk KLM tipe Madura posisi poros propeler miring sebesar 3° dengan arah mendatar. Posisi kemiringan tersebut dianggap sebagai arah gaya dorong propeller.
5. Selain tali dihubungkan pada paku, disisi yang lain dipasang pegas. Ujung pegas yang lain diikatkan pada stik. Tujuan pemasangan pegas, supaya tali yang menghubungkan load cell dengan badan kapal dalam keadaan tegang.

6. Model siap diuji coba dengan penarikan pada beberapa kecepatan dan pada kondisi miring 0° , 5° , dan 10° .



GAMBAR IV.3 Pemasangan Load Cell Pada Uji Tahanan Model Kapal

IV.1.5 Perhitungan Tahanan Kapal.

Langkah-langkah untuk mencari tahanan kapal, sebagai berikut :

1. Model kapal ditarik dengan kecepatan antara 0,4 m/s sampai 1,37 m/s. Besarnya tahanan kapal/koeffisien tahanan total model dicatat. Grafik hubungan antara tahanan model (R_{Tm}) dan kecepatan (V_m) dapat dilihat pada grafik IV.1 dengan bantuan tabel IV.1. Grafik IV.2 menunjukkan hubungan antara CT_m dan F_n
2. Mencari koefisien prohaska ($1+k$) dengan menggunakan regresi linier dari grafik hubungan antara CT_m/CF_m sebagai absis dengan F_n^4/CF_m , sebagai ordinatnya. Hasilnya lihat grafik IV.3.

3. Pada persamaan III.3 didapat koefisien tahanan sisa (CR). $CFS = CRM$
4. $CTS = CFS + CR + CA$. Hubungan antara CTS dan F_n , ditunjukkan pada grafik IV.4.
5. RTs dapat dicari melalui persamaan III.7. Grafik hubungan antara CTS dan Vs ditunjukkan pada grafik IV.5.

Data Model dan Model Kapal Layar Tradisional Tipe Madura

untuk Uji Tahanan Kapal.

Suhu	Model kapal	Kapal
27 °	ν (air tawar) = $0,85409 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$	
	ρ (air tawar) = $996,4 \text{ kg/m}^3$	
28 °		ν (air laut) = $0,88470 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$
		ρ (air laut) = $1022,3 \text{ kg/m}^3$

Luas permukaan basah (S)	Kemiringan		
	0°	5°	10°
Model (m ²)	1,274	1,210	1,213
Kapal (m ²)	127,4	121,0	121,3

Form Faktor (1+k)	Kemiringan		
	0°	5°	10°
	1,138	1,156	1,349

- Panjang Model Yang Tercelup Dalam Air (Lm) = 1,87 meter.
- Panjang Kapal Yang Tercelup Dalam Air (Ls) = 18,7 meter.

TABEL IV.1 Hasil Uji Tahanan Kapal

Kemiringan 0°

No	Vm(m/s)	RTm (N)	Fnm	Rnm	CFm	CTm	CTm/CFm	Fnm ⁴ /CFm	CRm	CA
1	0,4041	0,5020	0,0943	8,8476E+05	4,8147E-03	4,8434E-03	1,0060	0,0165	2,8774E-05	1,4620E-03
2	0,4988	0,7581	0,1165	1,0921E+06	4,5991E-03	4,8007E-03	1,0438	0,0400	2,0157E-04	1,4620E-03
3	0,6112	1,1049	0,1427	1,3382E+06	4,4045E-03	4,6600E-03	1,0580	0,0941	2,5551E-04	1,4620E-03
4	0,6336	1,2901	0,1479	1,3872E+06	4,3713E-03	5,0631E-03	1,1583	0,1096	6,9186E-04	1,4620E-03
5	0,7461	1,8738	0,1742	1,6336E+06	4,2252E-03	5,3034E-03	1,2552	0,2179	1,0782E-03	1,4620E-03
6	0,8281	2,6600	0,1933	1,8131E+06	4,1358E-03	6,1114E-03	1,4777	0,3379	1,9756E-03	1,4620E-03
7	0,9121	3,2110	0,2130	1,9970E+06	4,0555E-03	6,0811E-03	1,4995	0,5071	2,0256E-03	1,4620E-03
8	1,0036	3,9837	0,2343	2,1973E+06	3,9783E-03	6,2315E-03	1,5664	0,7577	2,2532E-03	1,4620E-03
9	1,0967	4,9948	0,2561	2,4012E+06	3,9087E-03	6,5429E-03	1,6739	1,0998	2,6342E-03	1,4620E-03
10	1,1603	5,8337	0,2709	2,5404E+06	3,8653E-03	6,8270E-03	1,7662	1,3934	2,9617E-03	1,4620E-03
11	1,2511	7,1107	0,2921	2,7392E+06	3,8085E-03	7,1574E-03	1,8793	1,9116	3,3489E-03	1,4620E-03
12	1,3670	9,5945	0,3192	2,9930E+06	3,7434E-03	8,0893E-03	2,1610	2,7720	4,3460E-03	1,4620E-03

Kemiringan 5°

No	Vm(m/s)	RTm (N)	Fnm	Rnm	CFm	CTm	CTm/CFm	Fnm ⁴ /CFm	CRm	CA
1	0,4322	0,5879	0,1009	9,4629E+05	4,7442E-03	5,2209E-03	1,1005	0,0219	4,7669E-04	1,4620E-03
2	0,5032	0,7910	0,1175	1,1017E+06	4,5904E-03	5,1821E-03	1,1289	0,0415	5,9169E-04	1,4620E-03
3	0,5997	1,1078	0,1377	1,2911E+06	4,4379E-03	5,2846E-03	1,1908	0,0810	8,4672E-04	1,4620E-03
4	0,6568	1,3367	0,1533	1,4380E+06	4,3385E-03	5,1402E-03	1,1848	0,1275	8,0168E-04	1,4620E-03
5	0,7508	1,9646	0,1753	1,6439E+06	4,2198E-03	5,7814E-03	1,3701	0,2238	1,5617E-03	1,4620E-03
6	0,8324	2,7379	0,1943	1,8225E+06	4,1315E-03	6,5549E-03	1,5866	0,3453	2,4234E-03	1,4620E-03
7	0,9238	3,3603	0,2157	2,0226E+06	4,0451E-03	6,5318E-03	1,6147	0,5350	2,4867E-03	1,4620E-03
8	1,0189	4,1359	0,2379	2,2308E+06	3,9663E-03	6,6087E-03	1,6662	0,8075	2,6424E-03	1,4620E-03
9	1,1293	5,3622	0,2637	2,4726E+06	3,8861E-03	6,9749E-03	1,7948	1,2437	3,0888E-03	1,4620E-03
10	1,1776	6,0622	0,2749	2,5783E+06	3,8541E-03	7,2518E-03	1,8816	1,4827	3,3977E-03	1,4620E-03
11	1,2576	7,4010	0,2936	2,7535E+06	3,8047E-03	7,7628E-03	2,0403	1,9536	3,9581E-03	1,4620E-03
12	1,3418	9,7154	0,3133	2,9378E+06	3,7569E-03	8,9515E-03	2,3827	2,5639	5,1946E-03	1,4620E-03

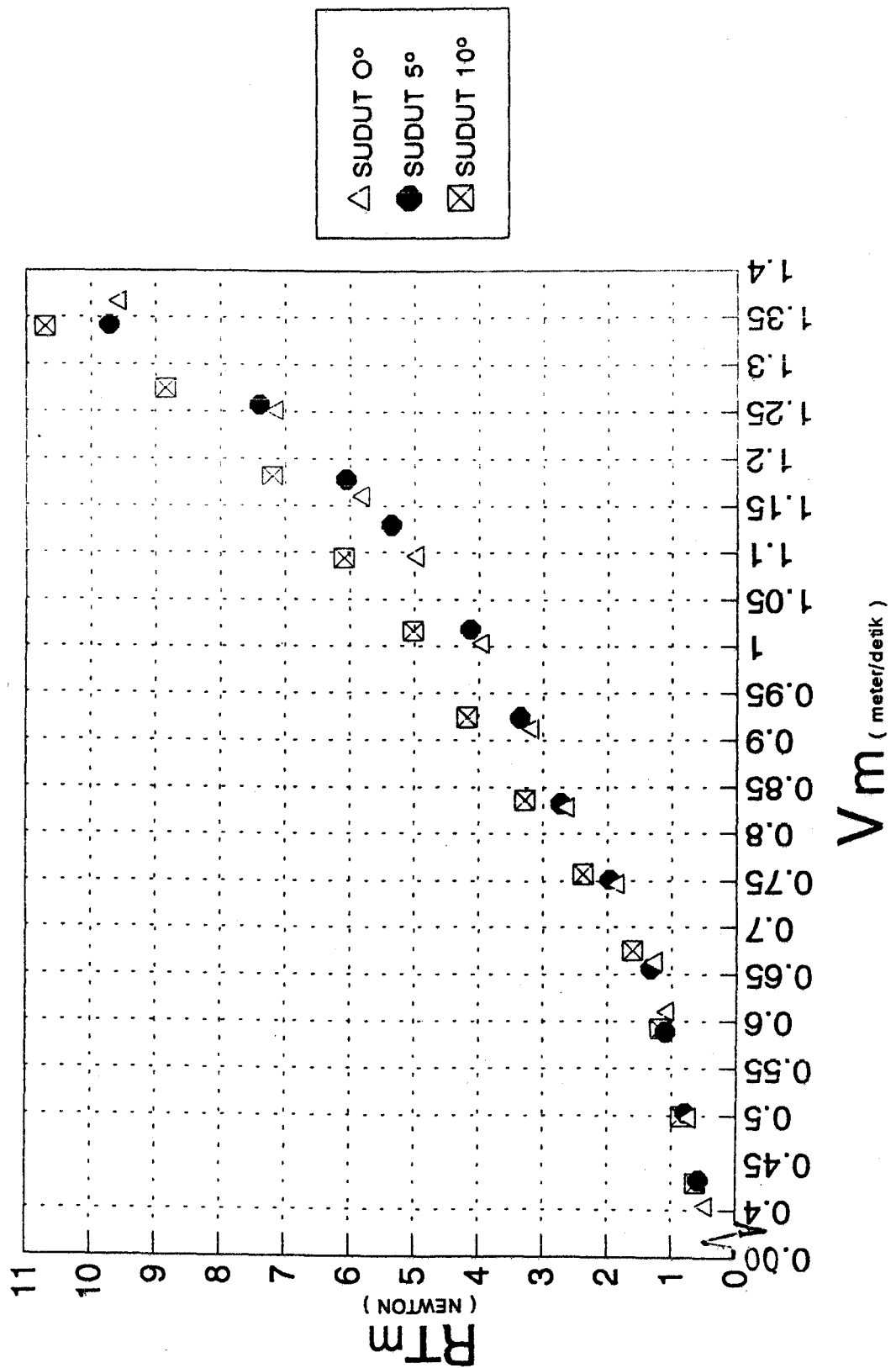
Kemiringan 10°

No	Vm(m/s)	RTm (N)	Fnm	Rnm	CFm	CTm	CTm/CFm	Fnm ⁴ /CFm	CRm	CA
1	0,4293	0,6294	0,1002	9,3994E+05	4,7512E-03	5,6512E-03	1,1894	0,0212	9,0001E-04	1,4620E-03
2	0,5002	0,8583	0,1168	1,0952E+06	4,5963E-03	5,6766E-03	1,2350	0,0405	1,0803E-03	1,4620E-03
3	0,5931	1,1831	0,1385	1,2986E+06	4,4325E-03	5,5655E-03	1,2556	0,0830	1,1330E-03	1,4620E-03
4	0,6758	1,6134	0,1578	1,4796E+06	4,3128E-03	5,8458E-03	1,3555	0,1437	1,5330E-03	1,4620E-03
5	0,7575	2,3803	0,1769	1,6585E+06	4,2121E-03	6,8644E-03	1,6297	0,2323	2,6523E-03	1,4620E-03
6	0,8361	3,2846	0,1952	1,8306E+06	4,1277E-03	7,7750E-03	1,8836	0,3518	3,6473E-03	1,4620E-03
7	0,9240	4,1835	0,2157	2,0231E+06	4,0449E-03	8,1083E-03	2,0046	0,5355	4,0634E-03	1,4620E-03
8	1,0161	5,0188	0,2372	2,2247E+06	3,9685E-03	8,0438E-03	2,0269	0,7982	4,0753E-03	1,4620E-03
9	1,0941	6,0883	0,2554	2,3955E+06	3,9105E-03	8,4162E-03	2,1522	1,0889	4,5057E-03	1,4620E-03
10	1,1808	7,2021	0,2757	2,5853E+06	3,8520E-03	8,5476E-03	2,2190	1,4997	4,6955E-03	1,4620E-03
11	1,2745	8,8464	0,2976	2,7905E+06	3,7948E-03	9,0120E-03	2,3749	2,0661	5,2173E-03	1,4620E-03
12	1,3400	10,7907	0,3129	2,9339E+06	3,7579E-03	9,9443E-03	2,6463	2,5495	6,1864E-03	1,4620E-03

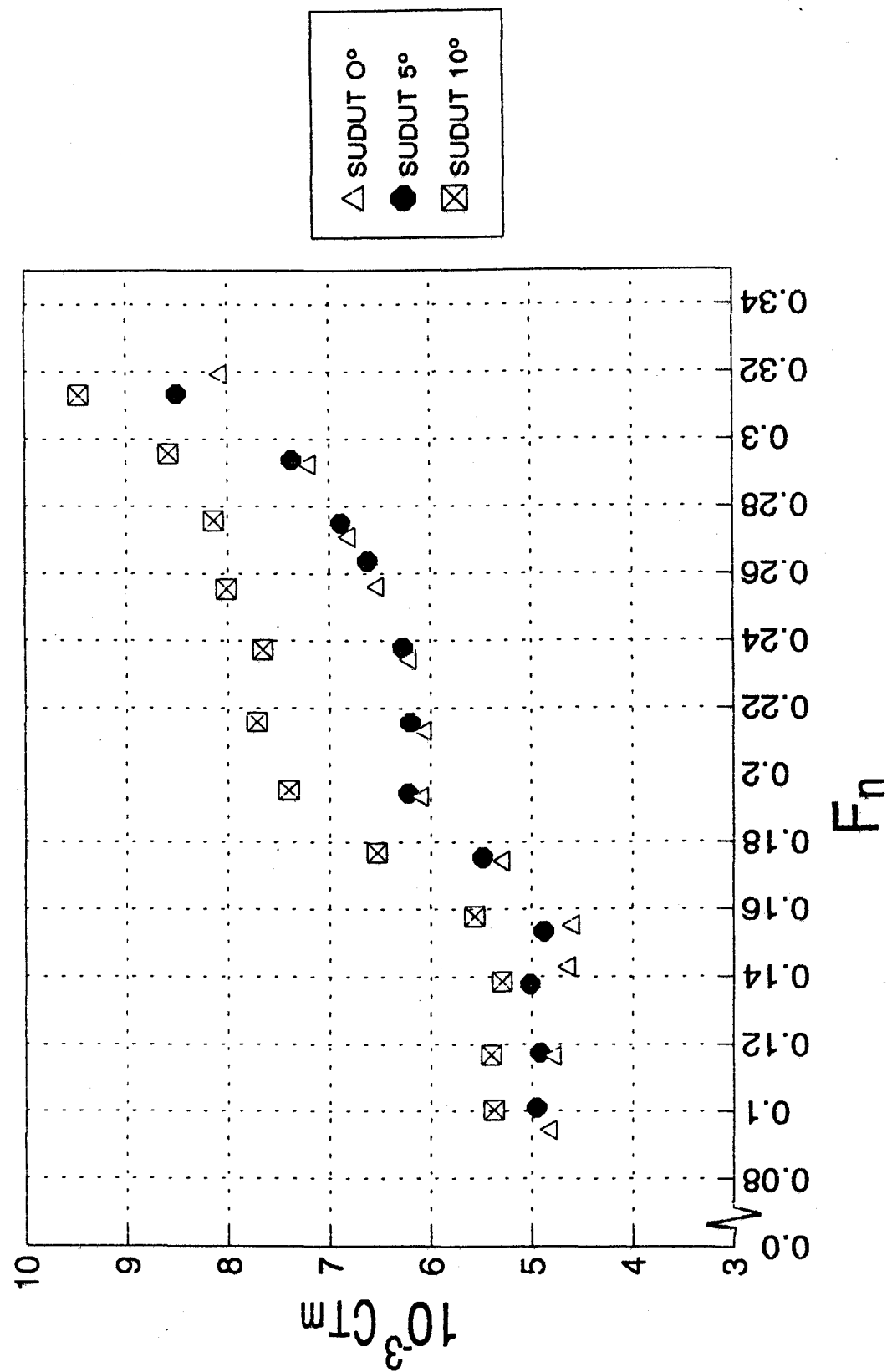
CA	CA+CRm	Vs (m/s)	RNs	CFs	$\{(1+k)CFs+CRm+CA\}$	RTs (N)
1,4620E-03	1,4908E-03	1,2779	2,7011E+07	2,5422E-03	4,3838E-03	4,6618E+02
1,4620E-03	1,6636E-03	1,5773	3,3340E+07	2,4588E-03	4,4616E-03	7,2288E+02
1,4620E-03	1,7175E-03	1,9328	4,0853E+07	2,3820E-03	4,4282E-03	1,0772E+03
1,4620E-03	2,1539E-03	2,0036	4,2351E+07	2,3688E-03	4,8496E-03	1,2678E+03
1,4620E-03	2,5402E-03	2,3594	4,9870E+07	2,3102E-03	5,1691E-03	1,8738E+03
1,4620E-03	3,4376E-03	2,6187	5,5351E+07	2,2739E-03	6,0252E-03	2,6907E+03
1,4620E-03	3,4876E-03	2,8843	6,0966E+07	2,2410E-03	6,0378E-03	3,2710E+03
1,4620E-03	3,7152E-03	3,1737	6,7082E+07	2,2092E-03	6,2292E-03	4,0857E+03
1,4620E-03	4,0962E-03	3,4681	7,3305E+07	2,1802E-03	6,5773E-03	5,1516E+03
1,4620E-03	4,4237E-03	3,6692	7,7556E+07	2,1622E-03	6,8842E-03	6,0355E+03
1,4620E-03	4,8109E-03	3,9563	8,3625E+07	2,1383E-03	7,2443E-03	7,3841E+03
1,4620E-03	5,8080E-03	4,3228	9,1372E+07	2,1108E-03	8,2101E-03	9,9908E+03

CA	CA+CRm	Vs (m/s)	RNs	CFs	$\{(1+k)CFs+CRm+CA\}$	RTs (N)
1,4620E-03	1,9387E-03	1,3667	2,8889E+07	2,5151E-03	4,8462E-03	5,5989E+02
1,4620E-03	2,0537E-03	1,5913	3,3635E+07	2,4554E-03	4,8921E-03	7,6614E+02
1,4620E-03	2,3087E-03	1,8648	3,9416E+07	2,3953E-03	5,0777E-03	1,0921E+03
1,4620E-03	2,2637E-03	2,0770	4,3901E+07	2,3557E-03	4,9869E-03	1,3305E+03
1,4620E-03	3,0237E-03	2,3742	5,0185E+07	2,3079E-03	5,6917E-03	1,9844E+03
1,4620E-03	3,8854E-03	2,6323	5,5639E+07	2,2721E-03	6,5119E-03	2,7907E+03
1,4620E-03	3,9487E-03	2,9213	6,1748E+07	2,2367E-03	6,5343E-03	3,4490E+03
1,4620E-03	4,1044E-03	3,2220	6,8105E+07	2,2042E-03	6,6525E-03	4,2715E+03
1,4620E-03	4,5508E-03	3,5712	7,5484E+07	2,1709E-03	7,0603E-03	5,5689E+03
1,4620E-03	4,8597E-03	3,7239	7,8712E+07	2,1574E-03	7,3537E-03	6,3072E+03
1,4620E-03	5,4201E-03	3,9769	8,4060E+07	2,1367E-03	7,8901E-03	7,7179E+03
1,4620E-03	6,6566E-03	4,2431	8,9688E+07	2,1165E-03	9,1033E-03	1,0137E+04

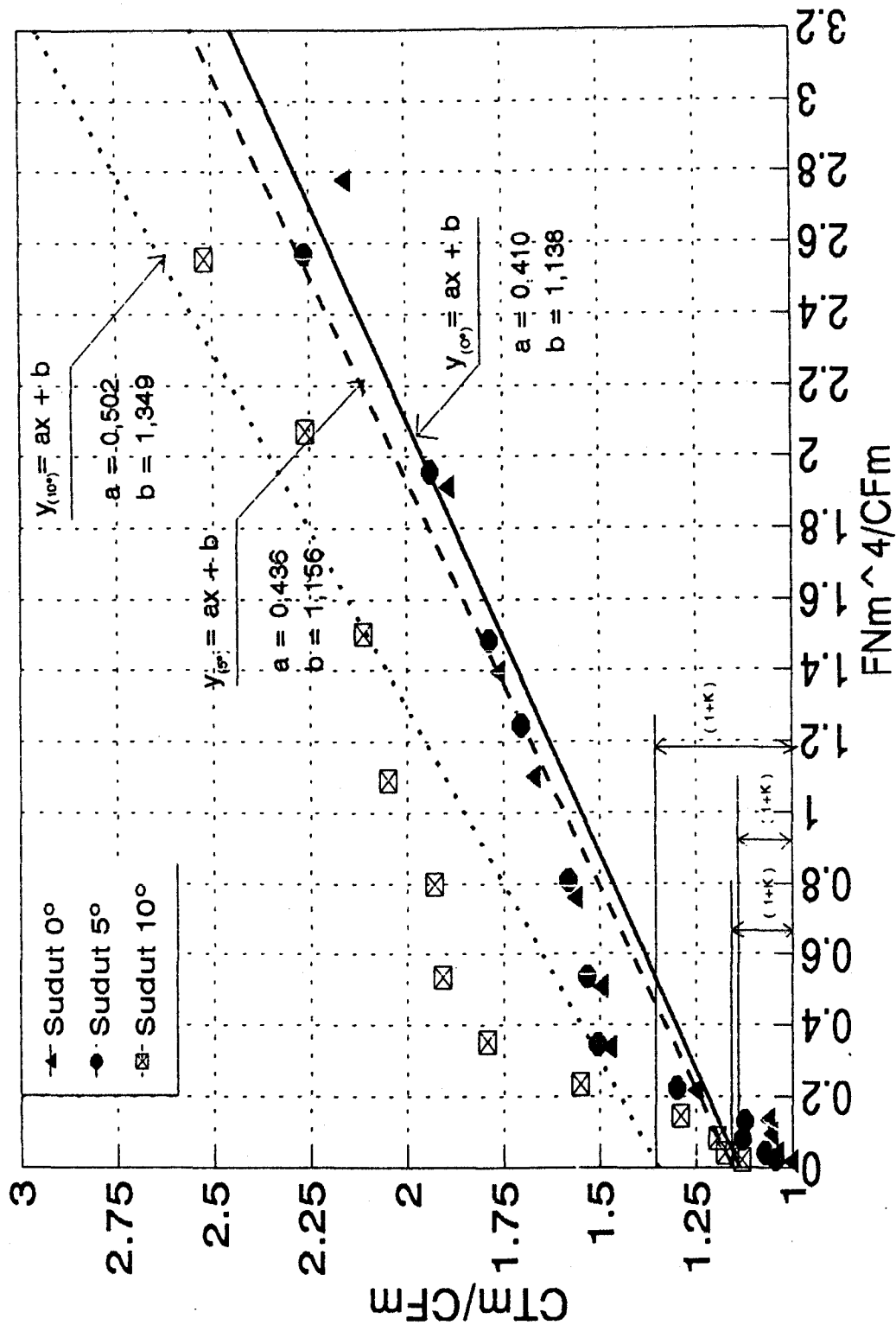
CA	CA+CRm	Vs (m/s)	RNs	CFs	$\{(1+k)CFs+CRm+CA\}$	RTs (N)
1,4620E-03	2,3620E-03	1,3576	2,8695E+07	2,5178E-03	5,2273E-03	5,9732E+02
1,4620E-03	2,5423E-03	1,5818	3,3434E+07	2,4577E-03	5,3391E-03	8,2826E+02
1,4620E-03	2,5950E-03	1,8755	3,9644E+07	2,3931E-03	5,3184E-03	1,1600E+03
1,4620E-03	2,9950E-03	2,1371	4,5171E+07	2,3454E-03	5,6641E-03	1,6039E+03
1,4620E-03	4,1143E-03	2,3954	5,0632E+07	2,3048E-03	6,7372E-03	2,3969E+03
1,4620E-03	5,1093E-03	2,6440	5,5886E+07	2,2706E-03	7,6932E-03	3,3345E+03
1,4620E-03	5,5254E-03	2,9219	6,1761E+07	2,2366E-03	8,0707E-03	4,2723E+03
1,4620E-03	5,5373E-03	3,2132	6,7918E+07	2,2051E-03	8,0467E-03	5,1511E+03
1,4620E-03	5,9677E-03	3,4598	7,3131E+07	2,1810E-03	8,4497E-03	6,2714E+03
1,4620E-03	6,1575E-03	3,7340	7,8926E+07	2,1566E-03	8,6117E-03	7,4448E+03
1,4620E-03	6,6793E-03	4,0303	8,5189E+07	2,1325E-03	9,1061E-03	9,1711E+03
1,4620E-03	7,6484E-03	4,2375	8,9567E+07	2,1170E-03	1,0058E-02	1,1197E+04

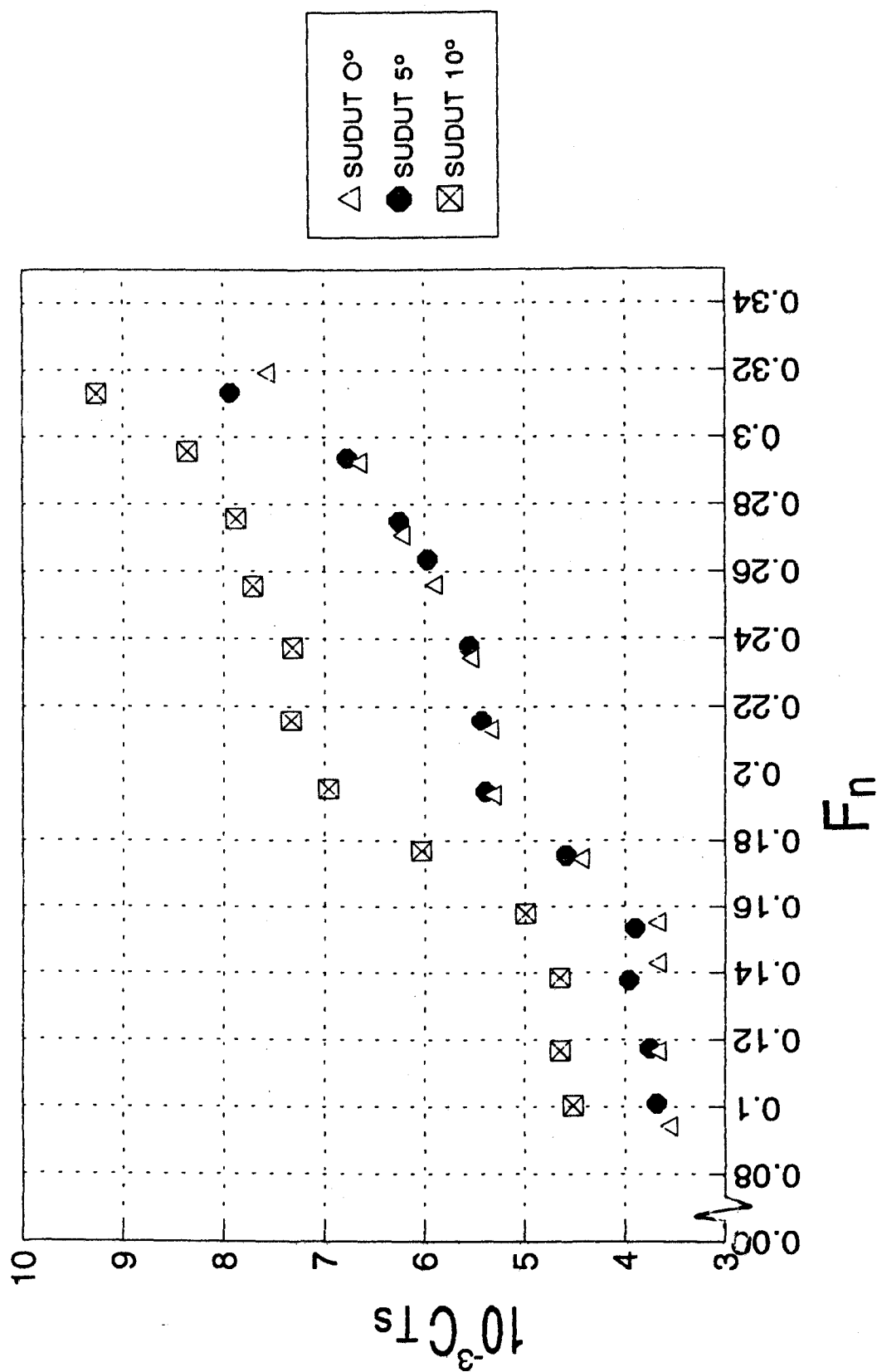
GRAFIK IV.1 HUBUNGAN ANTARA R_{Tm} DENGAN V_m 

GRAFIK IV.2 HUBUNGAN ANTAR C_{Tm} DENGAN F_n

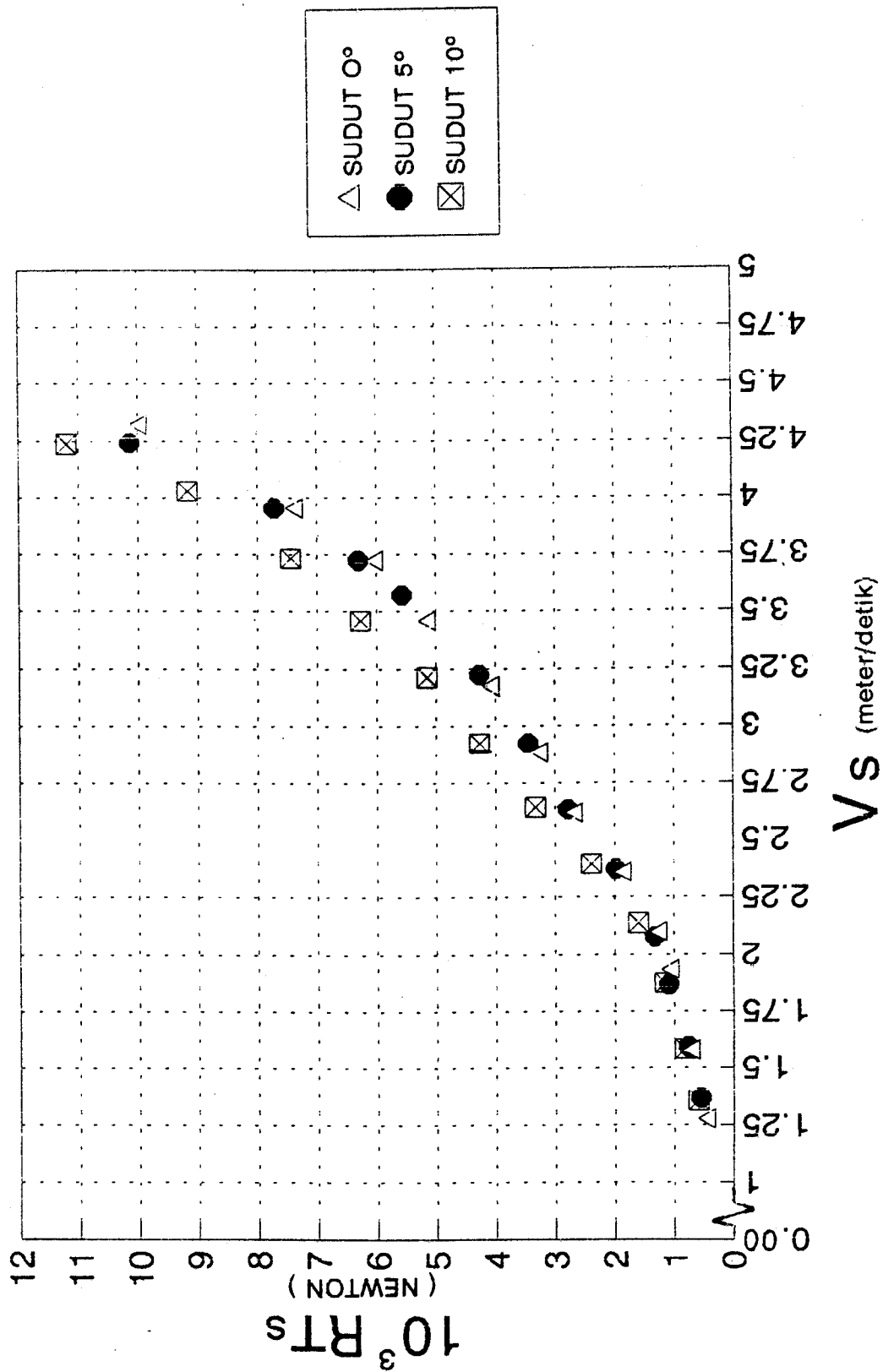


GRAFIK IV.3 METODE PROHASKA UNTUK MENENTUKAN FORM FAKTOR



GRAFIK IV.4 HUBUNGAN ANTARA C_{Ts} DENGAN F_n 

GRAFIK IV.5 HUBUNGAN ANTARA R_t DENGAN V_s

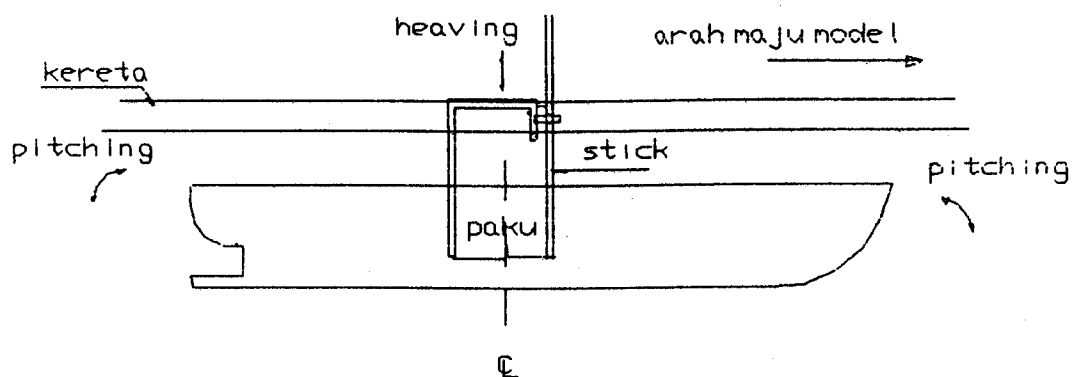


IV.2 EXPERIMEN KOPEL HEAVE DAN PITCH DI GELOMBANG REGULAR.

IV.2.1 Pengikatan Model.

Pengikatan model agar menghasilkan gerakan koppel heave dan pitch merupakan masalah yang dominan. Oleh karena model diikat sedemikian rupa sehingga bisa menghasilkan gerakan heave dan pitch (lihat gambar IV.4).

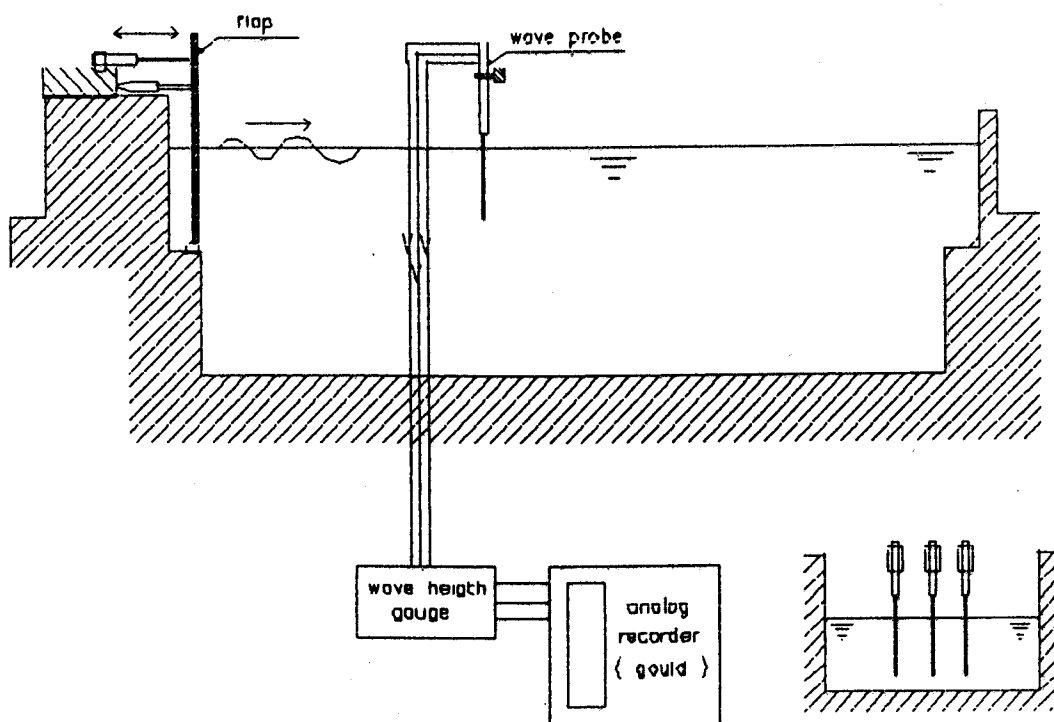
Gerakan pitching pada model tentunya berpusatkan pada CG model. Karena model ini masih mengalami proses perancangan maka untuk mengatasi kesulitan mencari CG-nya maka pengikatan model diletakkan pada midshipnya. Jarak antara CG dengan midship adalah relatif kecil terhadap panjang model secara keseluruhan. Maka, pengikatan pada midshipnya menghasilkan gerakan yang tak terlalu jauh berbeda dengan pengikatan di CG-nya.



GAMBAR IV.4 Pengikatan Model agar Menghasilkan koppel heave dan pitch

IV.2.2 Kalibrasi Gelombang.

Sebelum dilakukan percobaan gerak kopel heave dan pitch, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi gelombang (lihat gambar IV.5). Tujuannya adalah untuk mengetahui tinggi, dan periode gelombang yang sebenarnya terjadi akibat gerakan mesin pembuat gelombang setelah diberikan masukan data gelombang.



GAMBAR IV.5 Peralatan Kalibrasi Gelombang

Pertama-tama wave probe dimasukkan dalam air tenang sebesar 5 cm dari garis dasar (permukaan air tenang) dan wave height gauge diset 2,5 volt. Yang artinya perubahan sebesar 1 cm pada wave probe sama dengan $\frac{2,5}{5}$ volt = 500 mvolt, atau dikatakan perubahan ketinggian 1 mm di air tenang = 50 mvolt pada wave height gauge.

Diasumsikan bahwa skala dari strip chart diset pada 10 volt. Maksudnya 10 kotak pada strip chart = tegangan sebesar 10 volt. Diketahui 1 kotak = 5 mm, maka 1 mm pada strip cart = 200 mvolt. Suatu contoh, pada strip chart grafik dibaca sebesar 28 mm artinya $28 \times 200 \text{ mvolt} = 5600 \text{ m volt}$, yang sama dengan $\frac{5600 \text{mvolt}}{50 \text{mvolt}} \times 1 \text{ mm} = 112 \text{ mm} = 11,2 \text{ cm}$ perubahan ketinggian air pada kolam. Prosedur di atas adalah bagaimana cara menghitung tinggi gelombang, baru dengan membaca strip chart dapat ditentukan periode gelombang, dengan memperhitungkan kecepatan penggerak kertas yaitu :5,10,25,50,100,200 mm/detik.

IV.2.3 Peralatan Yang Dipakai Pada Percobaan Kopel Heave dan Pitch.

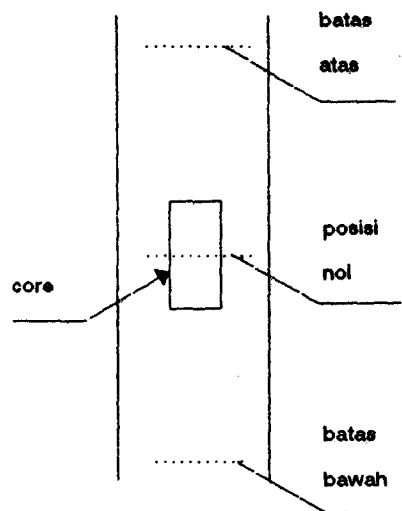
Peralatan yang dipakai antara lain :

1. Displacement Tranducer.

Displacement Tranducer adalah suatu alat yang dapat mengubah gerakan translasi secara vertikal menjadi tegangan. Perubahan gerak vertikal pada model kapal akan menggerakkan core yang terdapat di dalam displacement Tranducer. Displacement Tranducer yang dipakai saat percobaan adalah yang berjenis LVDT (Linier Variable Differential Transformer). Type : 5000 HR - DC.

Jangkauan pengukuran pada core:

- ▣ Jangkauan pengukuran core (lihat gambar IV.5) mempunyai batas atas dan batas bawah (sisi yang berkabel dianggap sisi bawah).
- ▣ Ditengah-tengah antara batas atas dan batas bawah adalah titik posisi nol (0).
- ▣ Bila gerakan (core) dari posisi nol menuju ke batas bawah, maka akan dihasilkan berupa penambahan tegangan positif.
- ▣ Sedangkan bila gerakan tersebut kebalikannya, dari posisi nol ke arah batas atas maka yang dihasilkan adalah penambahan tegangan Negatif.
- ▣ Ditengah-tengah antar batas atas dan batas bawah adalah posisi nol (0).

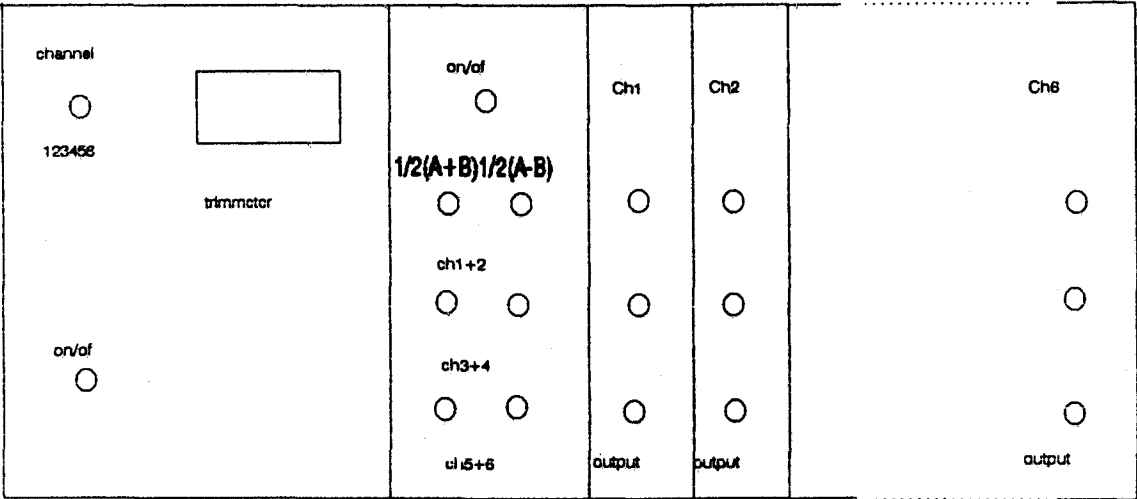
**GAMBAR IV.6 Core****2. Trimmer.**

Trimmer (gambar IV.7) merupakan suatu perangkat yang berfungsi untuk memperkuat tegangan yang dihasilkan oleh

displacement tranduser, sehingga dapat diproses melalui sebuah Digital Volt Meter.

Trimmer ini terdiri dari 6 kanal, yang setiap pasang kanalnya dilengkapi dengan penguat pencampur (summing Amplifier) dengan susunan pasangan kanal 1 dengan kanal 2, kanal 3 dengan kanal 4 dan kanal 5 dengan kanal 6. Meskipun pada dasarnya setiap kanal rangkaiannya sejenis/sama akan tetapi tidak dapat saling dipertukarkan misalnya kanal 1 dengan kanal 3 dan sebagainya.

Untuk melakukan kalibrasi harus dilakukan secara bergantian pada setiap kanal.



GAMBAR IV.7 Trimmer Yang dilengkapi Dengan Summing Amplifier

3. Strip chart data recorder.

Strip chart data adalah pencatat hasil yang diperoleh dari percobaan gerakan kopel heave dan pitch. Hasilnya berupa dua grafik gelombang hasil berupa amplitudo heaving dan pitching.

IV.2.4 Prosedur Experimen Kopel Heave dan Pitch.

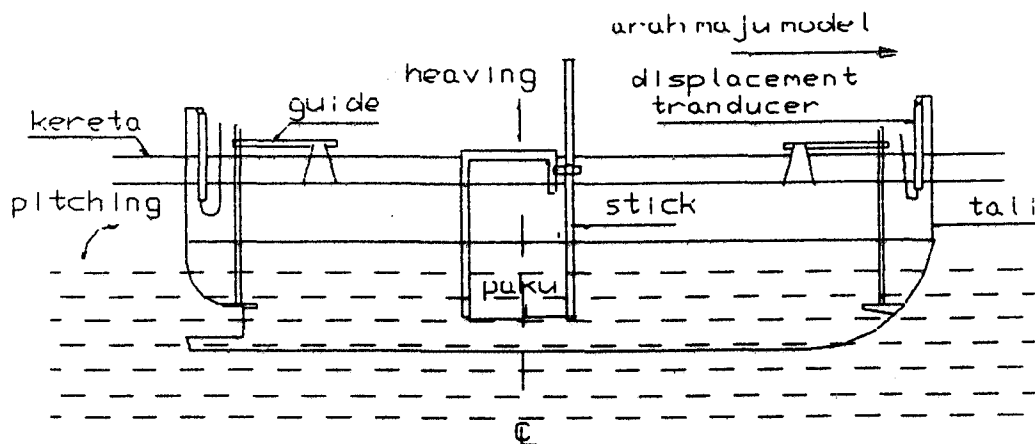
Prosedur experimen Kopel heave dan pitch adalah sebagai berikut :

A. PERSIAPAN.

1. Kapal diuji dengan kemiringan tetap sebesar sudut 0° , 5° , dan 10° (gambar IV.2). Oleh karena itu terlebih dahulu dibuatkan garis batas model yang tercelup dalam air. Hal ini dikerjakan untuk mudahnya pemberian beban yang diperlukan sesuai dengan kondisi kemiringan yang diinginkan.
2. Alat pengikat model (guide) disetimbangkan dulu agar tak mempengaruhi model, dengan menyetel guide sampai mencapai keadaan horisontal.
3. Pengikat model (guide) dipasang pada buritan maupun haluan dan diikat kuat.
4. Kemudian model diikat pada tengah kapalnya sedemikian rupa, sehingga dapat melakukan heave dan pitch dengan bebas (lihat gambar IV.8).
5. Kemudian kedua displacement transducer dipasang pada kereta. Tali yang menghubungkan core dibagian ujung yang lain juga dihubungkan pada bagian buritan dan haluannya. Jarak antara kedua displacement transducer sampai midship model (titik tambat) juga dihitung.
6. Agar core (yang berada displacement transducer) bergerak bebas baik ke atas maupun ke bawah, maka perlu ditentukan tengah-tengah displacement transducer. Pada sebelah luar dari displacement transducer diberi isolasi. Isolasi ini diberi tanda yang sejajar dengan titik tengah displacement transducer, tak lupa juga

pada isolasi tersebut diberi skala baik ke atas maupun ke bawah sebesar 5 cm dari titik tengah displacement transducer tersebut.

7. Dipasang Plug socket kabel displacement transducer yang akan dipakai ke socket dichassis bagian belakang Trimmeter.
8. Saklar pemilih kanal di panel bagian depan sebelah kiri atas ke kanan yang diinginkan. Kemudian saklar on/off diposisi ke on. Diusahakan tampilan digital diatur sampai mencapai nol, pada posisi core sama dengan nol.



GAMBAR IV.8 Peralatan Yang Digunakan Agar Menghasilkan Kopel Heave Dan Pitch

9. Mulailah dilakukan kalibrasi gerakan yang terjadi pada model dengan strip chart. Kalibrasi dilakukan pada setiap kanal. Tali pada displacement transducer diberi simpangan ke bawah sebesar 5 cm, dan strip chart diset pada 0,025 volt. Hal itu berarti Full scale pada strip chart yang berjumlah 10 kotak (1 kotak = 5 mm) adalah 0,025 volt. Kemudian dilihat pada strip chart, besar simpangannya. Misalnya menyimpang pada strip chart sebesar 15 mm, berarti

- displasemen sebesar 5 cm pada model sama dengan 15 mm di strip chart pada Full scale 0,025 volt.
10. Kemudian kabel-kabel output pada setiap kanal dipindahkan ke kanal summator $[1/2(A+B), 1/2(A-B)]$.
 11. Agar hasil grafik enak dibaca maka dipilih full scale yang sesuai.

B. PELAKSANAAN.

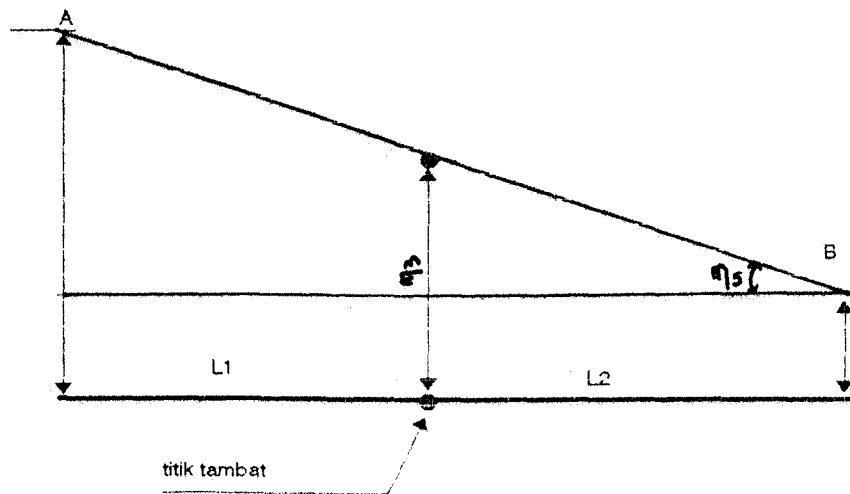
Model kapal ditarik dengan variasi kecepatan antara 1,478 m/s sampai 2,164 m/s pada kondisi kemiringan sebesar 0° , 5° , dan 10° . Setiap percobaan didapat 2 grafik gerakan kopel heave dan pitch yang dapat dilihat pada strip chart data seperti sinusoidal. Grafik-grafik tersebut adalah grafik hasil summator $1/2 (A+B)$, dan $1/2 (A-B)$.

Contoh rekaman kopel heave dan pitch dapat dilihat pada lampiran L

IV.2.5 Perhitungan Besarnya Heave Dan Pitch.

Dimisalkan A dan B adalah jarak dari titik buritan dan haluan yang diikat oleh displacemen transducer secara vertikal dari posisi seimbang (kapal tak mengalami gerakan) ,lihat gambar IV.9. L1 dan L2 adalah jarak dari buritan dan haluan secara horisontal sampai titik tambat (titik yang diikat).

Cara menghitung besar heaving dan pitchingnya, terlebih dahulu perlu menentukan rata-rata ketinggian lembah dan puncak gelombang dari kedua grafik tersebut. Dalam menghitung rata-ratanya perlu juga diperhatikan Full scale yang digunakan, yang berguna untuk penskalaan grafik.



GAMBAR IV.9 Perhitungan Besarnya Heave dan Pitch

Berdasarkan perhitungan secara matematika diperoleh bahwa besarnya amplitudo heaving (η_3) di midship, adalah:

$$\eta_3 = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot (A-B) \cdot \frac{L_2}{L_1+L_2} + \frac{1}{2} \cdot (A+B) - \frac{1}{2} \cdot (A-B) \quad \text{cm.}$$

Besarnya amplitudo pitching (η_5) di midship, adalah :

$$\eta_5 = \arctg \frac{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot (A-B)}{L_1+L_2} \quad \text{derajat.}$$

BAB V

ANALISA

V.1 UMUM

Kapal layar motor tipe Madura (lihat lampiran A) mempunyai bentuk yang unik yaitu mempunyai bar keel, dan pada bentuk kapal sebelah atas mempunyai kemiringan kedalam sekitar 25° . Bentuk kapal tersebut tentunya mempunyai karakteristik gerak dan tahanan kapal yang unik pula.

Karena jarak dari CG terhadap midship kapal relatif kecil dari panjang kapal secara keseluruhan (pada kapal KLM tipe Madura kurang dari 0,5m) maka dalam eksperimen, pengikatan model diletakkan pada midshipnya. Hal tersebut digunakan dalam menentukan letak titik berat (CG) yang diasumsikan pada midshipnya.

V.2 ANALISA UJI TAHANAN.

Pada uji tahanan antara model dengan kapal dipakai hukum-hukum kesamaan geometrika, kinematika, dan dinamika. Pada uji tahanan (bab III) digunakan froude number model sama dengan froude number kapal. Hal itu berkaitan erat dengan skala kecepatan model.

Dari grafik-grafik hasil uji tahanan dapat dianalisa sebagai berikut:

▣ **Grafik IV.1.**

1. Menunjukkan suatu kurva yang merupakan fungsi non linier.
2. Semakin tinggi kecepatan (V_m) semakin tinggi pula RT_m .
3. Tahanan model kapal untuk kemiringan $10^{\circ} > 5^{\circ} > 0^{\circ}$.

▣ Grafik IV.2

1. Bentuk grafiknya menunjukkan ketidakaturan. Grafik akan naik pada F_n sekitar 0,15 sampai 0,2, dan 0,25 sampai 0,32. Grafik mendatar atau sedikit turun pada F_n sekitar 0,1 sampai 0,15, dan 0,2 sampai 2,25.
2. CT_m untuk kemiringan 10° lebih tinggi daripada 5° , dan untuk kemiringan 5° lebih tinggi daripada 0° .

▣ Grafik IV.3

1. Harga faktor bentuk (k) untuk kemiringan $10^\circ = 0,349$
2. Harga faktor bentuk (k) untuk kemiringan $5^\circ = 0,156$
3. Harga faktor bentuk (k) untuk kemiringan $0^\circ = 0,138$
4. Harga faktor bentuk (k) untuk kemiringan $0^\circ < 5^\circ < 10^\circ$.

▣ Grafik IV.4

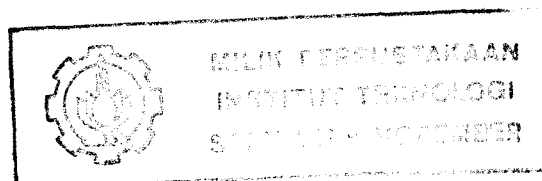
1. Harga CT_s untuk kemiringan 10° lebih tinggi daripada 5° .
2. Harga CT_s untuk kemiringan 5° lebih tinggi daripada 0° .
3. Bentuk grafik $CT_s - F_n$ menyerupai grafik $CT_m - F_n$
4. Harga CT_s untuk kemiringan 5° hampir mendekati untuk kemiringan 0° .

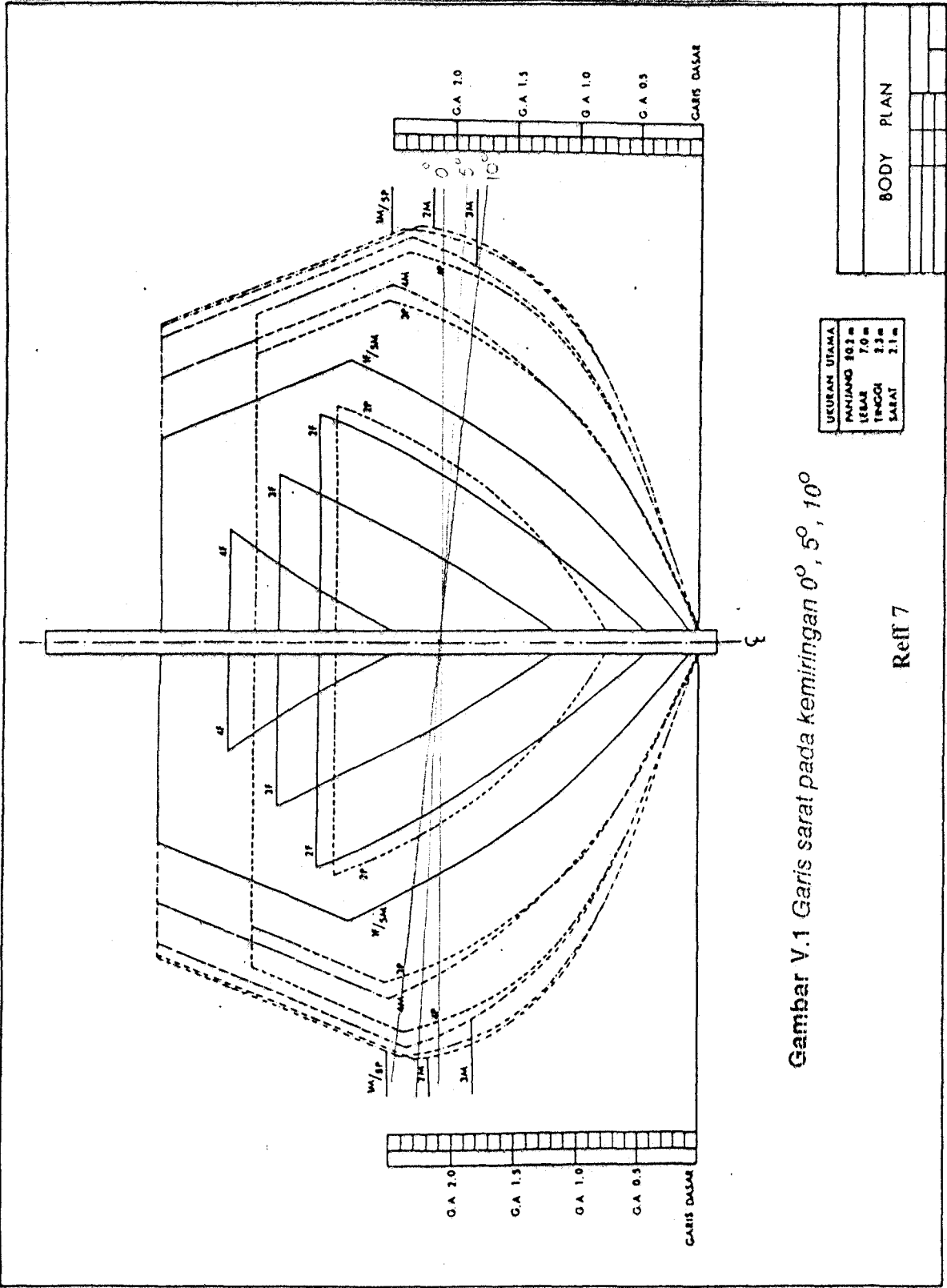
Pembahasan :

- a. Harga tahanan total untuk kemiringan $10^\circ > 5^\circ > 0^\circ$, hal itu disebabkan dari bentuk bagian depan kapal. Bentuk bagian depan kapal pada garis air kemiringan 10° lebih menonjol daripada 5° dan

untuk kemiringan 5° lebih menonjol daripada 0° (lihat gambar VI.1) pada salah satu bagian (misalnya bagian kiri).

- b. Harga CTm pada grafik terlihat memang naik turun. Harga CTm ini harus dicek dengan melihat hubungan grafik RTm - Vm. Grafik ini selau naik tahanan totalnya dengan bertambahnya Vm, dan apabila titik satu dengan yang lain dihubungkan kira-kira grafiknya mendekati mulus.
- c. Grafik RTs-Vs hampir menyerupai grafik RTm-Vs.
- d. Dengan turunnya CT baik model maupun kapal terhadap CT yang terdahulu, tak berarti Harga RT akan turun, tetapi RT-nya mengalami peningkatan tak terlalu besar dengan RT yang terdahulu.





V.3 ANALISA HASIL EKSPERIMEN DAN PERHITUNGAN ANALITIS UNTUK KOPEL HEAVE DAN PITCH.

Pada kesempatan ini dibandingkan hasil kopel heave dan pitch yang diperoleh dari eksperimen dan secara teori strip untuk kapal yang tak mengalami kemiringan. Sedangkan untuk kemiringan 5° dan 10° tak dibandingkan dengan hasil yang diperoleh secara teori strip, karena sifat dari teori strip adalah bagian kiri dan kanan kapal harus sama (simetris). Tetapi dapat dibandingkan hasil amplitudo heave dan pitch antara kemiringan ($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$) yang diperoleh secara eksperimen. Skala model dengan kapal dapat dilihat pada lampiran H.

Di bawah ini hasil yang diperoleh dari eksperimen dan teori strip untuk uji kopel heave dan pitch.

Tabel V.1 Perbandingan hasil antara teori strip dengan eksperimen posisi kemiringan 0° untuk amplitudo heave

No	Lw/Lpp	ω_e	amplitudo heave pada kapal (cm)	
			teori strip	eksperimen
1	0	0	0	0
2	1,5	2,173	9,308	38,82
3	2	1,795	24,490	47,36
4	2,5	1,553	31,954	57,05
5	3	1,382	32,298	54,43
6	3,5	1,254	29,512	48,36
7	4	1,153	24,289	44,67

Tabel V.2 Perbandingan hasil antara teori strip dengan eksperimen pada posisi 0° untuk amplitudo pitch.

No	Lw/Lpp	ω_e	amplitudo pitch (derajat)	
			teori strip	eksperimen
1	0	0	0	0
2	1,5	2,173	2,460	2,779
3	2	1,795	2,819	6,093
4	2,5	1,553	2,286	3,363
5	3	1,382	2,024	3,209
6	3,5	1,254	1,721	3,036
7	4	1,153	1,153	2,895

Tabel V.3 Perbandingan hasil eksperimen dari berbagai kemiringan ($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$) untuk amplitudo heave pada saat kapal mengalami kopel heave dan pitch

No	Lw/Lpp	ω_e	amplitudo heave pada model (cm)		
			0°	5°	10°
1	1,5	2,173	3,882	4,536	4,243
2	2,0	1,793	4,731	5,755	5,151
3	2,5	1,553	5,705	6,107	5,962
4	3	1,382	5,443	4,716	5,115
5	3,5	1,254	4,836	4,480	4,661
6	4,0	1,153	4,467	4,650	5,035

Tabel V.4 Perbandingan hasil eksperimen dari berbagai kemiringan ($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$) untuk amplitudo pitch pada saat kapal mengalami kopel heave dan pitch

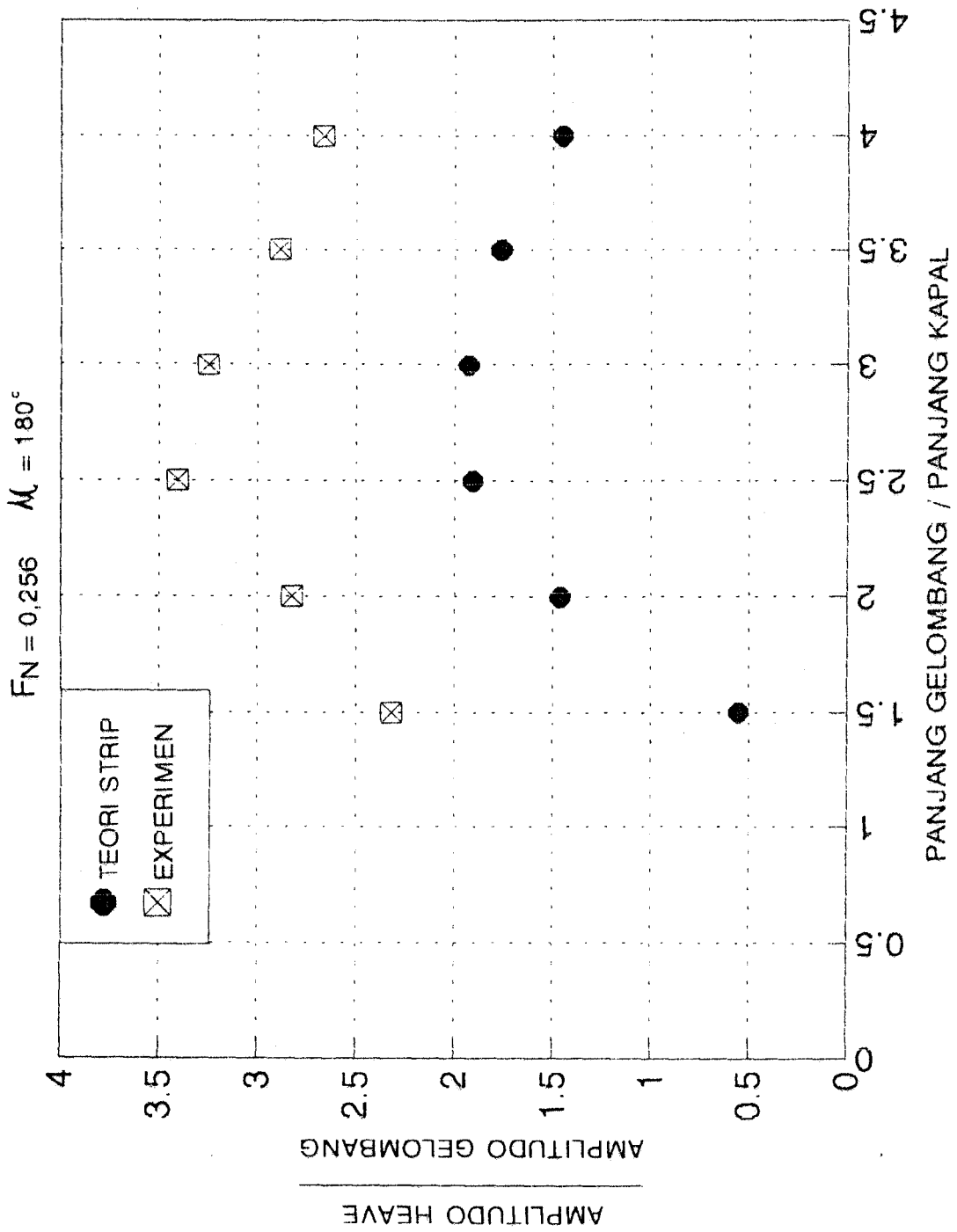
No	Lw/Lpp	m_e	amplitudo pitch pada model (derajat)		
			0°	5°	10°
1	1,5	2,173	2,779	3,749	3,434
2	2	1,795	6,039	8,520	9,851
3	2,5	1,553	3,363	4,284	3,507
4	3	1,382	3,209	3,616	3,798
5	3,5	1,254	3,036	3,483	3,944
6	4,0	1,153	2,895	2,279	2,339

Dengan menggunakan landasan grafik (reff. 1, hal 205) hasil kopel heave dan pitch dapat dilihat pada grafik V.1, V.2, V.3, V.4.

Grafik V.1 menggambarkan hasil yang diperoleh pada tabel V.1. Grafik V.2 menggambarkan hasil yang diperoleh pada tabel V.2

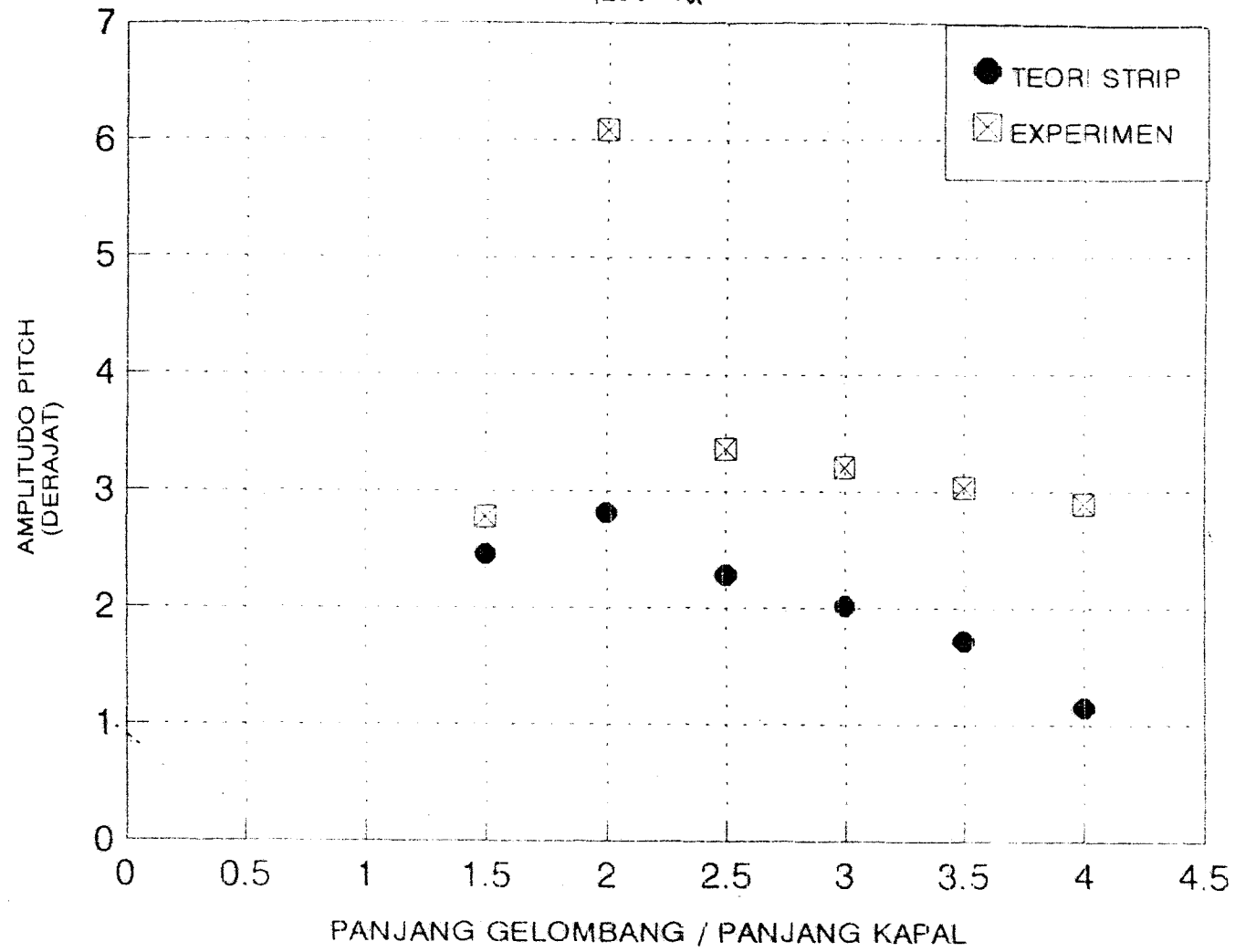
Tabel V.3 dan tabel V.4 adalah daftar yang berisikan hasil yang diperoleh eksperimen kopel heaving dan pitching. Grafik V.3 menggambarkan hasil yang diperoleh pada tabel V.3. Grafik V.4 menggambarkan hasil yang diperoleh pada tabel V.4.

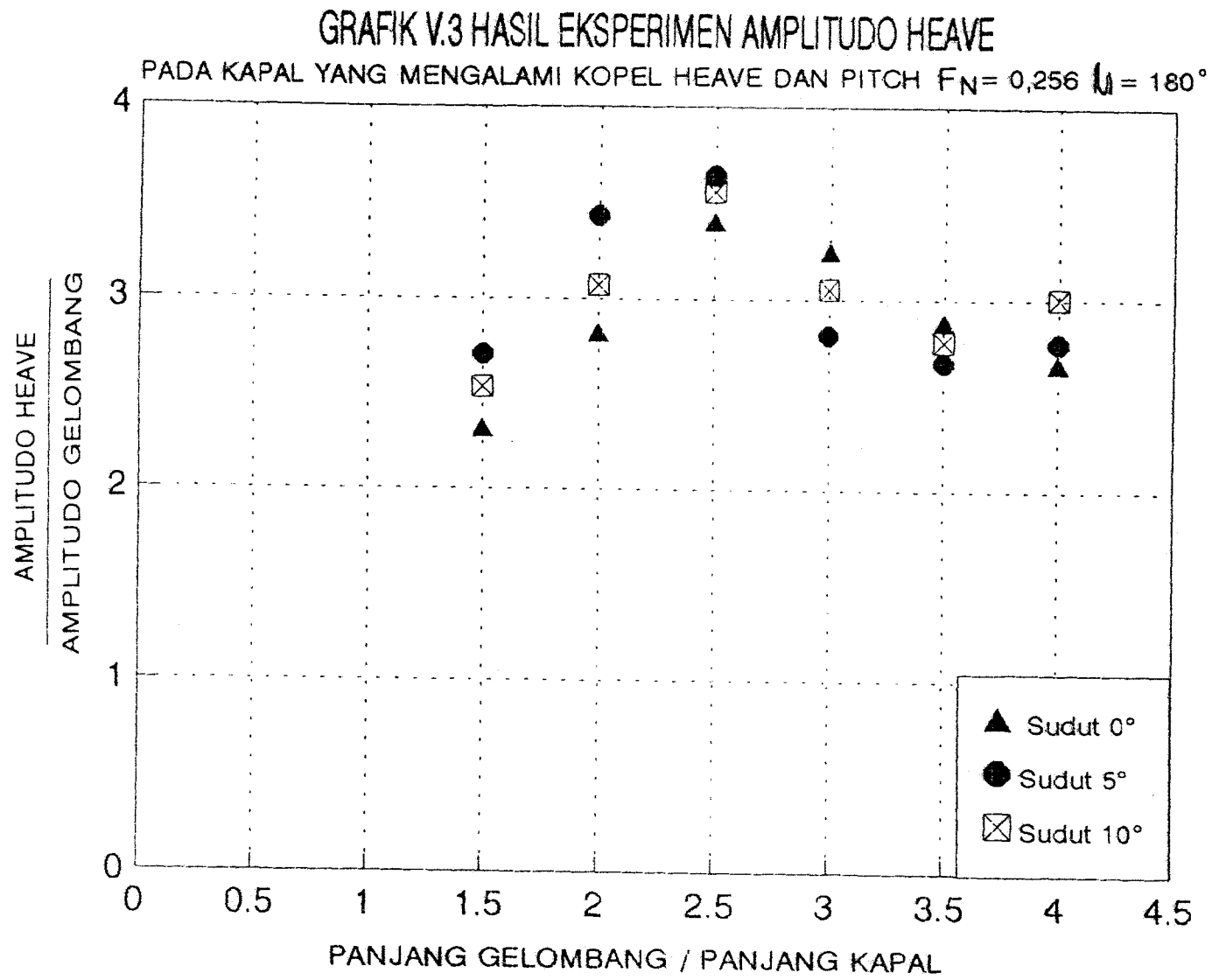
GRAFIK V.1 AMPLITUDO HEAVE PADA KAPAL YANG MENGALAMI KOPEL HEAVE DAN PICH

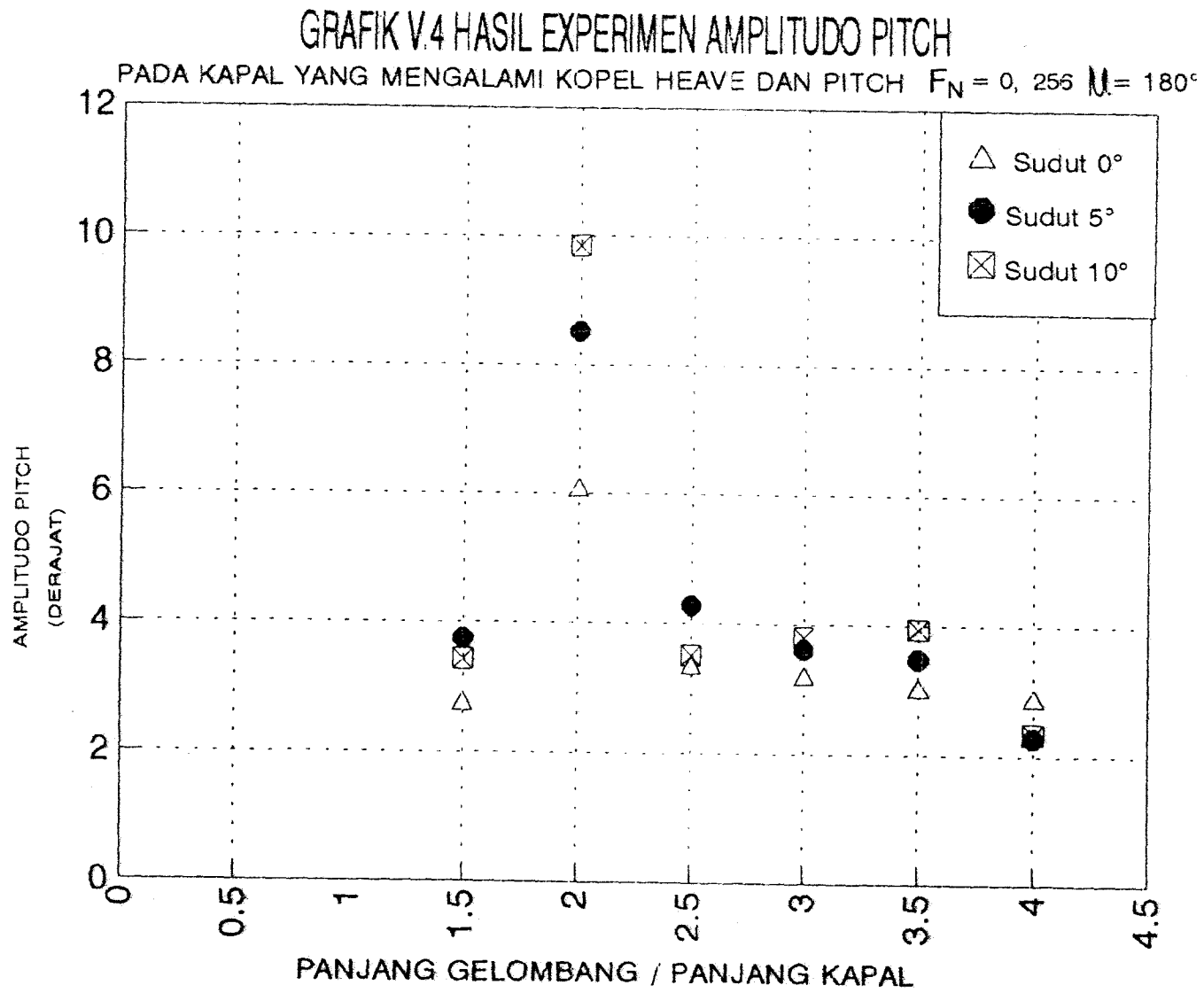


GRAFIK V.2 AMPLITUDO PITCH PADA KAPAL YANG MENGALAMI KOPEL HEAVE DAN PITCH

$$F_N = 0,256 \quad \mu = 180^\circ$$







Dari grafik-grafik hasil uji kopel heave dan pitch dapat dianalisa sebagai berikut :

▣ **Grafik V.1**

1. Hasil yang dicapai secara teori lebih rendah daripada eksperimen.
2. Bentuk grafik yang diperoleh dari teori mirip dengan eksperimen.
3. Amplitudo tertinggi dicapai pada LW/LPP sekitar 2,5.

▣ **Grafik V.2**

1. Hasil yang dicapai secara teori lebih rendah daripada eksperimen.
2. Bentuk grafik yang diperoleh dari teori mirip dengan eksperimen.
3. Amplitudo tertinggi dicapai pada LW/LPP sekitar 2,0.

▣ **Grafik V.3**

1. Untuk LW/LPP 1,5 sampai 2,5 amplitudo heave pada kemiringan $0^{\circ} < 10^{\circ} < 5^{\circ}$.
2. Untuk LW/LPP 2,5 sampai 4,0 amplitudo heave pada kemiringan $5^{\circ} < 10^{\circ} < 0^{\circ}$.
3. Amplitudo tertinggi dicapai pada LW/LPP sekitar 2,5.

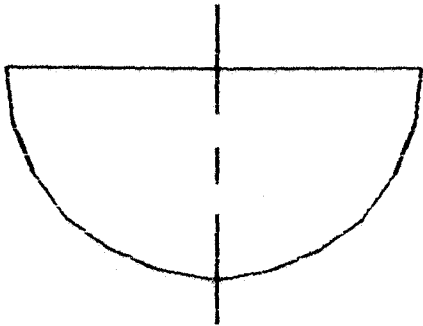
▣ **Grafik V.4**

1. Pada LW/LPP 1,5 sampai 2,5 amplitudo pitch pada kemiringan $0^{\circ} < 10^{\circ} < 5^{\circ}$.
2. Pada LW/LPP 2,3 sampai 3,5 amplitudo pitch pada kemiringan $0^{\circ} < 5^{\circ} < 10^{\circ}$.
3. Amplitudo pitch tertinggi untuk semua kemiringan dicapai pada LW/LPP sekitar 2.

Pembahasan :

Hasil teori strip masih kurang akurat dalam menentukan amplitudo heave dan pitch. Hal tersebut disebabkan karena:

1. Berbagai asumsi dari teori strip. Asumsi ini dapat dilihat pada bab III.
2. Penentuan harga C yang kurang tepat.
 - a. Harga koefisien added mass (C) tergantung pada Bn/Tn (lebar/sarat kapal), βn (koefisien luas perbagian), dan $\frac{\omega^2 \beta n}{2g}$. Pada lampiran I harga βn antara 0,5 sampai 1 dengan selang 0,1, maka untuk harga βn diantaranya dipergunakan cara interpolasi dan bila diluar harga tersebut dipakai ekstrapolasi. Hasil yang didapat dari interpolasi dan ekstrapolasi belum tentu benar, tetapi harga tersebut merupakan harga pendekatan saja.
 - b. Koefisien C diperoleh dari asumsi badan kapal seperti bentuk Lewis (lihat gambar VI.2). Asumsi Lewis menggambarkan suatu bentuk yang hanya mengoreksi B dan T saja, tanpa memperhatikan bentuk badan kapal. Di sini diasumsikan, C mempunyai harga yang sama untuk bentuk-bentuk kapal dimana mempunyai B, T dan luas perseksi yang sama, walaupun bentuknya berbeda-beda.
 - c. Perbedaan harga C disebabkan juga karena pada model KLM tipe Madura terdapat bar keel, sehingga koefisien added mass sangat berbeda dengan hasil yang diperoleh dari asumsi badan kapal seperti bentuk Lewis.



Gambar V.2 Bentuk Lewis setengah lingkaran

3. Penentuan harga \bar{A} yang kurang tepat.

a. Harga koefisien damping dipengaruhi oleh :

- ▣ Tipe gerakan osilasi.
- ▣ Frekuensi encountering dari osilasi.
- ▣ Bentuk kapal.

Di dalam eksperimen tentunya tidak semuanya yang kita inginkan benar-benar terjadi. Apa yang diharapkan supaya model bergerak secara vertikal, tentunya masih terjadi gerak secara horisontal. Hal itu sulit dielakkan walaupun kecil.

Bentuk kapal satu dengan lainnya tentu mempunyai harga \bar{A} yang berbeda-beda walaupun semua ukuran utamanya sama.

b. Penentuan damping dengan tes model ada 3 metode :

1. *Osilasi bebas di air tenang.*

Metode ini sangat tidak akurat karena kurva extinction (kurva yang menggambarkan simpangan gerakan osilasi) tak dapat ditentukan dengan akurat.

2. *Osilasi gaya di air tenang.*

Semua faktor penentu gaya damping ditentukan dengan akurat. Gaya osilasi diperoleh dari pembuat osilasi.

3. *Osilasi gaya di gelombang regular.*

Meskipun metode ini menggambarkan suatu situasi yang lebih nyata, tetapi metode ini sulit hasil yang tepat karena sukar menentukan gaya eksiting yang akurat.

Pada grafik (ref 1, hal.44), harga \bar{A} ditentukan dengan menggunakan perhitungan osilasi gaya di air tenang, sehingga menyebabkan \bar{A} akan berbeda dengan kenyataan sebenarnya.

BAB VI

KESIMPULAN

VI.1 KESIMPULAN UJI TAHANAN.

Dari analisa pada bab V didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Bentuk grafik tahanan total (RT) baik model maupun kapal untuk kemiringan $10^{\circ} > 5^{\circ} > 0^{\circ}$ yang disebabkan karena besarnya tonjolan di bagian depan pada garis sarat $10^{\circ} > 5^{\circ} > 0^{\circ}$.
2. Bentuk grafik koefisien tahanan total (CT) baik model dengan kapal menunjukkan ketidakaturan (naik turun).
3. Dengan turunnya CT terhadap CT yang lalu, tak berarti RT akan turun, tetapi RT-nya mengalami peningkatan tak terlalu besar dengan RT yang terdahulu.
4. Dalam perencanaan kecepatan kapal diusahakan mencari harga CT dari grafik yang mendatar atau turun. Hal itu berkaitan dengan harga RT. Bila harga CT meningkat dengan pesat maka harga RT-nya juga naik dengan pesat. Penentuan harga CT yang tepat merupakan input untuk mencari kecepatan ekonomis kapal.
5. Untuk kondisi kemiringan tertentu perlu diacarikan harga CT yang tepat, karena berkaitan dengan kecepatan ekonomis kapal.
6. Dengan mengetahui harga RT, maka dengan mudah didapatkan tenaga yang dipergunakan kapal agar kapal tersebut bergerak dengan kecepatan V (Reff.5 hal.2).

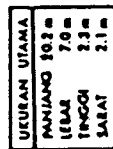
VI.2 KESIMPULAN UJI KOPEL HEAVE DAN PITCH.

Dari analisa pada bab V didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Amplitudo heave baik teori strip maupun eksperimen tertinggi dicapai pada LW/LPP sekitar 2,5. Maka, harus dihindarkan kapal berlayar di lautan yang mempunyai panjang gelombang sekitar 2,5 kali LPP-nya. Atau dengan cara mengurangi kecepatan kapal agar efek dari heave tertinggi bisa dikurangi yang berarti gerakan kapal lebih mengikuti gelombang.
2. Amplitudo pitch baik teori strip maupun eksperimen tertinggi dicapai pada LW/LPP sekitar 2.
3. Dari nomor 1 dan 2 dapat ditarik kesimpulan bahwa kapal mengalami kondisi yang berbahaya pada LW/LPP sekitar 2 sampai 2,5.
4. Hasil yang didapatkan dari teori strip kurang akurat yang disebabkan oleh penentuan harga koefisien added mass dan koefisien damping yang tidak tepat.
5. Hasil yang dicapai teori strip bentuknya sudah seperti yang didapatkan dari eksperimen, namun harganya masih dibawah eksperimen.
6. Setelah diketahui tinggi amplitudo heave dan pitch di midship, maka dengan mudah dapat dicari amplitudo heave dan pitch di depan kapal (bow) yang merupakan input untuk mencari tinggi freeboard minimum.

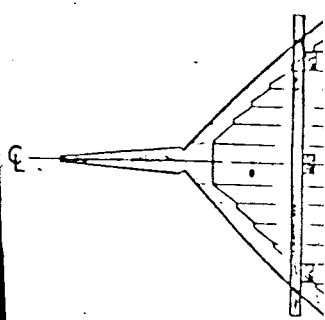
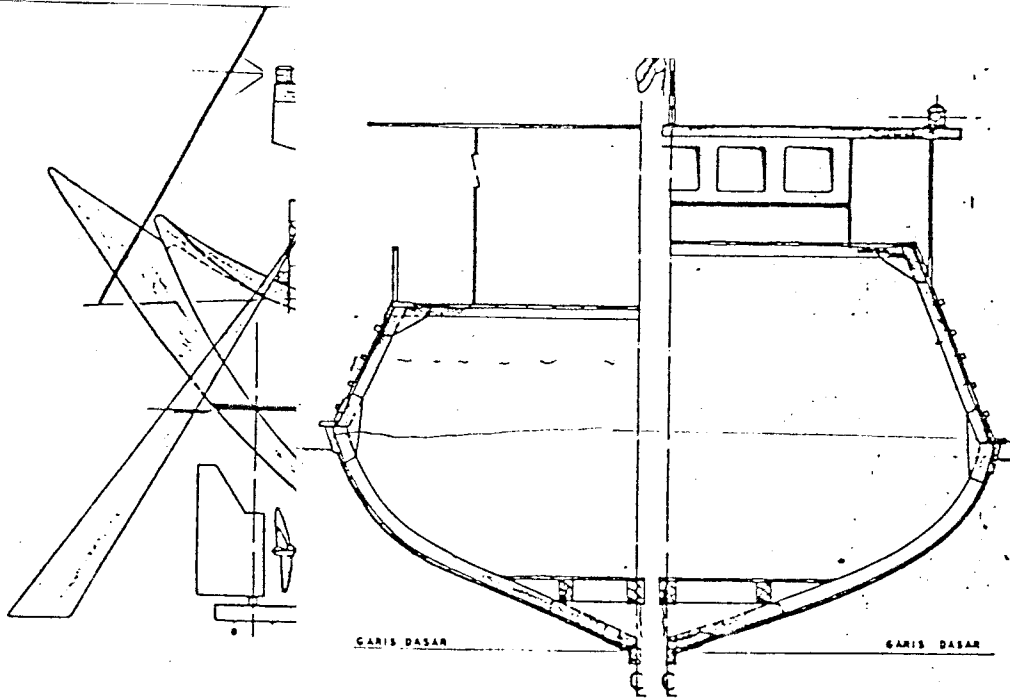
DAFTAR PUSTAKA

1. BHATTACHARYYA, RAMESWAR, ' *Dynamics of Marine Vehicle* ', John Willy & Sons Inc., 1978.
2. HARVALD, SV.AA., ' *Resistance and Propulsion of Ships* ', John Willy & Sons Inc., Canada, 1983.
3. JEFFREY, DR., FALZARANO, ' *Naval architecture and Marine Engineering Ship Motion I* ', University of New Orleans, 1991.
4. LOYD, A.R.J.M., *Seakeeping : Ship Behavior in Rough Wheater* ', Ellis Harwood Limited , 1989.
5. Lewis, Edward V., 'Principle of Naval Architecture ', Second Revision, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Volume II, Jersey 1988.
6. Lewis, Edward V., 'Principle of Naval Architecture', Second Revision, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Volume III, Jersey 1988.
7. PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA (PERSERO), ' *Studi Modernisasi dan Standarisasi Kapal Kayu Tradisionil* ', Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.



BODY PLAN

Ref 7



UKURAN UTAMA

PANJANG GELADAK (PJ)	20,20	m
LEBAR (L)	7,0	m
TINGGI (T)	2,3	m
SARAT (S)	2,1	m

10 m

BKI. UNIT INCOMAR			
RENCANA UMUM KLM. TYPE MADURA			
SKALA		TANGGAL	No.
DIGAMBAR		3-7-92	
DIPERIKSA		4-7-92	JUMLAH GAMBAR RE

Kondisi Tak Mengalami Kemiringan

No Ordinat	Simpson (s)	g	g.s	g	g.s
0	1	0,0	0,0	0,0	0,0
1	4	19,3	77,2	17,9	77,2
2	2	35,3	70,6	35,3	70,6
3	4	41,9	167,6	41,9	167,6
4	2	42,2	84,4	42,2	84,4
5	4	42,8	171,2	42,8	171,2
6	2	39,5	79	39,5	79
7	4	35,5	142	35,5	142
8	2	27,1	54,2	27,1	54,2
9	4	10,0	40,0	10,0	40,0
10	1	0,0	0,0	0,0	0,0
		\sum kiri =	935,8	\sum kanan =	935,8

$$WSA = 1/3 \times 2,02 \times 2 \times 935,8 = 1140,06 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Bilge bar} = 13,93 \text{ cm}^2$$

$$WSA \text{ total} = 1273,9 \text{ cm}^2$$

Kondisi Miring 5°

No Ordinat	Simpson (s)	g	g.s	g	g.s
0	1	0,0	0,0	0,0	0,0
1	4	21,4	82,4	17,9	71,6
2	2	38,4	74,4	32,4	64,8
3	4	45,3	176,0	38,6	154,4
4	2	45,6	88,6	38,8	77,6
5	4	46,3	180,0	39,3	157,2
6	2	42,9	83,4	36,0	72,0
7	4	38,8	150,0	32,3	129,2
8	2	29,3	57,0	25,0	50,0
9	4	10,8	42,0	9,3	37,2
10	1	0,0	0,0	0,0	0,0
		∑ kiri =	962,4	∑ kanan =	814,0

$WSA = 1/3 \times 2,02 \times (962,4 + 814,0) = 1196,1 \text{ cm}^2$

$Bilge \text{ bar} = 13,93 \text{ cm}^2$

$WSA \text{ total} = 1210,03 \text{ cm}^2$

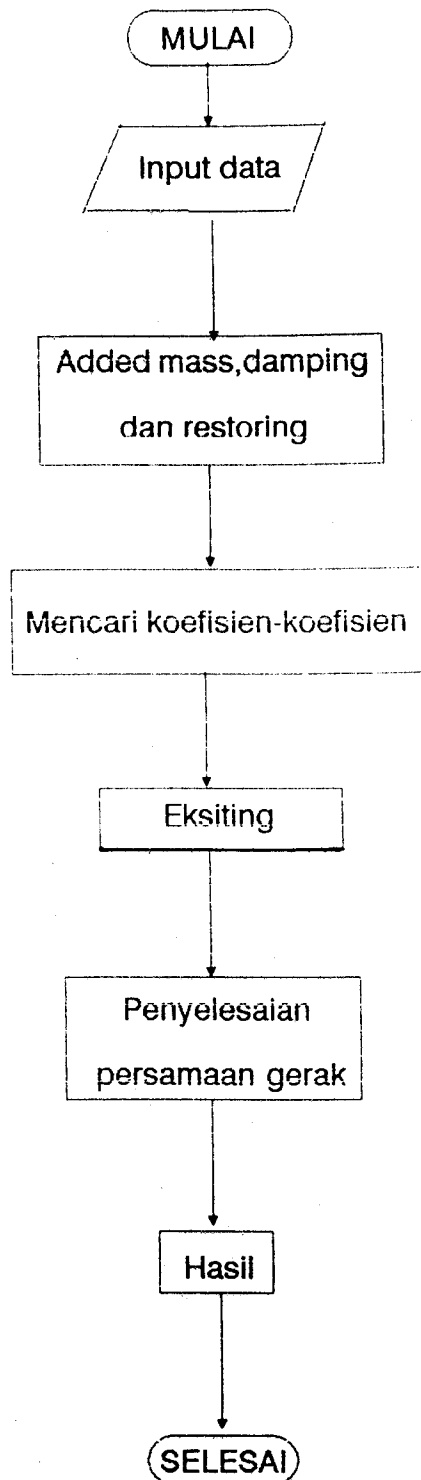
Kondisi Miring 10°

No Ordinat	Simpson (s)	g	g.s	g	g.s
0	1	0,0	0,0	0	
1	4	23,1	92,4	16,7	66,8
2	2	41,1	82,2	30,3	60,0
3	4	48,1	192,4	35,7	142,8
4	2	48,5	97,5	35,8	71,6
5	4	49,2	196,8	36,2	114,8
6	2	45,8	91,6	33,0	66,0
7	4	41,4	165,6	29,9	119,6
8	2	31,6	63,0	23,4	46,8
9	4	11,6	46,4	8,7	34,8
10	1	0,0	0,0	0,0	0,0
		\sum kiri =	1027,9	\sum kanan =	753,2

$$WSA = 1/3 \times 2,02 \times (1027,9 + 753,2) = 1199,2 \text{ cm}^2$$

$$\text{Bilge bar} = 13,93 \text{ cm}^2$$

$$WSA \text{ total} = 1213,13 \text{ cm}^2$$



PENJELASAN PROGRAM

Dari diagram alir di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

☐ Input Data.

Untuk ,memasukkan data dapat dilakukan dengan membuat suatu file data yang dibaca oleh program.

Data input terdiri dari data dari kapal dan data dari gelombang.

Data kapal meliputi :

- » Panjang kapal (A).
- » Lebar kapal (B).
- » Sarat kapal (T_n).
- » Letak titik G (pusat gaya berat kapal) dari midship (OCG).

Data dari tiap tiap strip (section) yang meliputi :

- » Lebar strip (B_n).
- » Sarat strip (T_n).
- » Koefisien luas strip (S_n).
- » Koefisien C (C).
- » Koefisien \bar{A} (ASTRIP).

Untuk data gelombang yang diperlukan adalah :

- » Amplitudo gelombang (Z_a).
- » Panjang gelombang (PGEL).
- » Frekuensi encountering (W_e).

☐ Added Mass, Damping, Dan Restoring*Added Mass meliputi :*

- » Added mass untuk gerakan heaving (ADD1).
- » Added mass untuk gerakan pitching (ADD2).

Koefisien damping meliputi :

- » Koefisien damping untuk gerakan heaving (DAMP1).
- » Koefisien damping untuk gerakan pitching (DAMP2).

Koefisien restoring meliputi:

- » Koefisien restoring untuk gaya heaving (REST1).
- » Koefisien restoring untuk momen pitching (REST2).

☐ Koefisien-koefisien :*Koefisien-koefisien meliputi :*

- » Koefisien d (COFd).
- » Koefisien D (COFD).
- » Koefisien e (COFe).
- » Koefisien E (COFD).
- » Koefisien h (COFh).
- » Koefisien H (COFH).

☐ Eksiting*Gaya eksiting meliputi :*

- » Gaya eksiting/F1 (COFF1).
- » Gaya eksiting/F2 (COFF2).

Momen eksiting meliputi :

- » Momen eksiting/M1 (COFM1).
- » Momen eksiting/M2 (COFM2).

☐ Hasil penyelesaian Persamaan Gerak :

Akhirnya didapat :

- » Amplitudo heaving (ZTOT).
- » Amplitudo pitching (TETOT).
- » Sudut phase:
- » Sudut phase heaving (DELTA).
- » Sudut phase pitching (ETHAA).

CONTOH DATA INPUT

0.00	0.00	0.00	-10.1	0.000
0.64	0.00	0.00	-9.09	0.030
2.94	0.83	0.50	-8.08	1.980
4.30	0.80	0.26	-7.07	4.670
5.36	0.86	0.31	-6.06	6.550
6.00	0.85	0.46	-5.05	7.590
6.40	0.80	0.48	-4.04	8.430
6.62	0.80	0.55	-3.03	8.840
6.80	0.80	0.56	-2.02	9.070
7.00	0.81	0.59	-1.01	9.280
7.00	0.81	0.59	0.00	9.280
6.82	0.81	0.58	1.01	9.040
6.70	0.82	0.58	2.02	8.580
6.20	0.84	0.55	3.03	7.820
5.56	0.87	0.51	4.04	6.780
4.72	0.87	0.40	5.05	5.578
3.74	0.87	0.36	6.06	4.470
2.68	0.95	0.22	7.07	2.280
1.30	1.32	0.17	8.08	0.530
0.00	0.00	0.00	9.09	0.000
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
1.1534	20.2	199.875	0.1675	0.000
3.6	7.00	2.10	0.356	0.000
80.8	0.00	0.00	0.00	0.000

```

{$N+,E+}
PROGRAM PERSAMAAN_GERAK (INPUT,OUTPUT);
{*****}
{*
{*          PROGRAM Mencari Persamaan Gerakan Kapal          *}
{*
{*          YANG Mengalami Couple Heaving dan Pitching      *}
{*
{*          DI Atas Gelombang Regular                          *}
{*
{*          OLEH :                                             *}
{*
{*          HERU SUSANTO                                       *}
{*          4894100306                                         *}
{*
{*          *****}
Uses CRT;
Const
    N      = 21;
    RHO    = 1.025;
    PHI    = 3.14;
    GRAF   = 9.81;
    P: integer = 2;
    Sumo1 : real= 0.0;
    Sumo2 : real= 0.0;
    Sumo3 : real= 0.0;
    Sumo4 : real= 0.0;
    Sumo5 : real= 0.0;
    Sumo6 : real= 0.0;
    Sumo7 : real= 0.0;
    Sumo8 : real= 0.0;
    Sumo9 : real= 0.0;
    Sumo10: real= 0.0;
    Sumo11: real= 0.0;
    Sumo12: real= 0.0;
    Sumo13: real= 0.0;
    Sumo14: real= 0.0;
    Esem  : real= 0.0;
Var
    Bn,C,ASTRIP,SUM,FAK,Sn,EFF,OCG,E,SUMAL,BSUMR,BSUMD,BU,BSUMA,BEXP,
    DAN,OC,EFFN,SATA,SUMR,SUMd,SUMA,BSIN,BCOS,SUMM,SUMX,SUMMM,SUMC
    : array[1..25] of DOUBLE;
    ADD1,ADD2,DAMP1,DAMP2,REST1,REST2,ETOT,EAKH,FO,COFM1,COFD,COFE,
    COFE1,COFH,COFH1,BMASS,BIMASS,COFF1,COFF2,COFM2,AMO,ALPA,ALP,TETA,
    TET,SISI,SISI2,PRE,PIM,SRE,SIM,QRE,QIM,RRE,RIM,CRE21,CRE11,CIM11,
    CIM21,PSRE,PSIM,CRE22,CRE12,CIM12,CIM22,QRRE,QRIM,PSMQRR,PSMQRI,
    PSQRIS,FRE,FIM,CMRE,CMIM,COEF1,CRE23,CRE13,CIM13,CIM23,CRE24,CRE14,
    CIM14,CIM24,FSRE,FSIM,QMRE,QMIM,FSMMQR,FSMMQI,CRE25,CRE15,CIM15,
    CIM25,CRE26,CRE16,CIM16,CIM26,CRE27,CRE17,CIM17,CIM27,FPHRE,FPHIM,
    ZRE,ZIM,ZTOT,TETRE,TETIM,TETOT,DELT,ETHA,PMRE,PMIM,FRRE,FRIM,PMMFRR,

```

```

PMMFRI,CRE28,CRE18,CIM18,CIM28,PMHRE,PMHIM,PQHRE,CRE29,CRE19,CIM19,
CIM29,PQHIM,A, AW, B, Tn, Cb, Sel, PGEL,ZA,We,U,TETOTE,FAKI,
DELTA,ETHAA:DOUBLE;
File1:text;
i : integer;

```

```

Begin

```

```

  Clrscr;
  Assign (File1,'c:\mhs\4100306\data808.pas');
  Reset (File1);

```

```

  for I := 1 to N+3 do

```

```

    Begin

```

```

      READLN (File1,Bn[I],C[I],ASTRIP[I],OCG[I],Sn[I]);

```

```

    End;

```

```

  Close (File1);

```

```

  Assign (File1,'c:\mhs\4100306\hasil808.pas');

```

```

  ReWRITE(File1);

```

```

  for I := 1 to N+3 do

```

```

    Begin

```

```

      Writeln (File1,Bn[I],C[I],ASTRIP[I],OCG[I],Sn[I]);

```

```

    End;

```

```

  close (File1);

```

```

{pernyataan input}

```

```

We:= Bn[N+1];      {frekuensi encountering}

```

```

A := C[N+1];       {panjang kapal}

```

```

Aw:= ASTRIP[N+1];  {displacement kapal}

```

```

Za:= OCG[N+1];     {amplitudo gelombang}

```

```

U := Bn[N+2];      {kecepatan kapal}

```

```

B := C[N+2];       {lebar kapal}

```

```

Tn:= ASTRIP[N+2];  {sarat kapal}

```

```

Cb:= OCG[N+2];     {koefisien blok}

```

```

PGEL:= Bn[N+3];    {panjang gelombang}

```

```

SEL := A/(N-1);    {jarak station}

```

```

{ PERHITUNGAN ADDED MASS KAPAL UNTUK GERAKAN HEAVING }

```

```

  for I:= 2 to N-1 do

```

```

    Begin

```

```

      if I MOD 2=1 THEN

```

```

        FAK[I]:= RHO*2

```

```

      ELSE

```

```

        FAK[I]:=RHO*4;

```

```

    End;

```

```

FAK[1]:= RHO;

```

```

FAK[N]:= RHO;

```

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM[I]:= FAK[I]*C[I]*PHI*(Bn[I]*Bn[I])/8;
  End;
SUM01:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM01:= SUM01 + SUM[I];
  End;

ADD1:= SUM01*SEL/(3*GRAF);
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUMA[I]:= (SUM[I]*RHO)/FAK[I];
  End;

```

{ PERHITUNGAN ADDED MASS KAPAL UNTUK GERAKAN PITCHING }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM[I]:= FAK[I]*C[I]*PHI*(Bn[I]*Bn[I])*(OCG[I]*OCG[I])/8;
  End;
SUM02:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM02:= SUM02 + SUM[I];
  End;
ADD2:= SUM02*SEL/(3*GRAF);

```

{ PERHITUNGAN COEFF DAMPING UNTUK HEAVING }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUMD[I]:= FAK[I]*GRAF*GRAF*ASTRIP[I]*ASTRIP[I]/(We*We*We);
  End;
SUM03:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM03:= SUM03 + SUMD[I];
  End;

DAMP1:= SEL*SUM03/(3*GRAF);

```

{ PERHITUNGAN COEFF DAMPING UNTUK PITCHING }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM[I]:= FAK[I]*(GRAF*GRAF)*(ASTRIP[I]
      *ASTRIP[I])*(OCG[I]*OCG[I])/(We*We*We);
  End;
SUM04:= 0.0;

```



```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM04:= SUM04 + SUM[I];
  End;
DAMP2:= SEL*SUM04/(3*GRAF);

```

{ PERHITUNGAN COEFF RESTORING FORCE GERAKAN HEAVING }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM[I]:= FAK[I]*GRAF*Bn[I];
  End;
SUM05:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM05:= SUM05 + SUM[I];
  End;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUMR[I]:= RHO*GRAF*Bn[I];
  End;
REST1:= SEL*SUM05/(3*GRAF);

```

{ PERHITUNGAN MOMENT RESTORING FORCE GERAKAN PITCHING }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM[I]:= FAK[I]*GRAF*Bn[I]*(OCG[I]*OCG[I]);
  End;
SUM06:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM06:= SUM06 + SUM[I];
  End;
for I:= 1 to N do
  Begin
    E[I]:= -(FAK[I]*OCG[I]) - (U*ADD1);
  End;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM[I]:= FAK[I]*(GRAF*GRAF)*(ASTRIP[I]*ASTRIP[I])*OCG[I]/(We*We*We);
  End;
ESEM:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    ESEM:= ESEM + SUM[I];
  End;
ETOT:= -(ESEM*SEL/(3*GRAF));
EAKH:= ETOT - (U*ADD1);
REST2:= (SEL*SUM06/(3*GRAF)) - (U*EAKH);

```

{ MENGHITUNG KOEFISIEN COUPLE 'd' DAN 'D' }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM[I]:= FAK[I]*PHI*(Bn[I]*Bn[I])*C[I]*OCG[I]/8;
  End;
SUM07:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM07:= SUM07+SUM[I];
  End;
COFD:= -(SEL*SUM07)/(3*GRAF);
COFd:= COFD;

```

{ MENCARI KOEFISIEN COUPLE 'e' dan 'E' }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM[I]:= (FAK[I]*GRAF*GRAF*ASTRIP[I]*ASTRIP[I]*OCG[I])/(We*We*We);
  End;
SUM08:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM08:= SUM08+SUM[I];
  End;
COFe:= -(SEL*SUM08/(3*GRAF))+(U*ADD1);
COFE1:= -(SEL*SUM08/(3*GRAF))-(U*ADD1);

```

{ MENCARI KOEFISIEN COUPLE 'h' DAN 'H' }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM[I]:= FAK[I]*GRAF*Bn[I]*OCG[I];
  End;
SUM09:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUM09:= SUM09 + SUM[I];
  End;
COFH:= -(SEL*SUM09/(3*GRAF))+(U*DAMP1);
COFH1:= -(SEL*SUM09/(3*GRAF));

```

{ MENCARI MASSA KAPAL DAN MOMEN INERSIA MASSA KAPAL }

```

BMASS:= Aw/GRAF;
BIMASS:= BMASS*(0.245*A)*(0.245*A);

```

{ PERHITUNGAN KOMPONEN EXCITING FORCE 'F1' }

```

for I:= 2 to N-1 do
  Begin
    DAN[I]:= 0.5*(((SUMA[I]-SUMA[I-1])/(OCG[I]-OCG[I-1]))
      +((SUMA[I+1]-SUMA[I])/(OCG[I+1]-OCG[I])));
  End;
DAN[1]:= (SUMA[2]-SUMA[1])/(OCG[2]-OCG[1]);
DAN[N]:= (SUMA[N]-SUMA[N-1])/(OCG[N]-OCG[N-1]);
for I:= 1 to N do
  Begin
    EFFN[I]:= (2*PHI*OCG[I])/PGEL;
  End;
for I:= 2 to N-2 do
  Begin
    SATA[I]:= Sn[I]/Bn[I];
  End;
SATA[N-1]:=0.0;
SATA[1]:= 0.0;
SATA[N]:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUMM[I]:=((((SUMR[I]*Za)-(SUMA[I]*Za*(We*We)))*SIN(2*PHI
      *OCG[I]/PGEL))+(((SUMD[I]*Za*(We))-(U*Za*We*DAN[I]))
      *COS(2*PHI*OCG[I]/PGEL)))*(EXP(-(2*PHI/PGEL*SATA[I])))
      *FAK[I]/RHO;
  End;

SUMO11 := 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUMO11 := SUMO11+SUMM[I];
  End;
COFF1:= SEL*SUMO11/(3*GRAF);

```

{ PERHITUNGAN KOMPONEN EXCITING FORCE 'F2' }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    SUMMM[I]:=((((SUMR[I]*Za)-(SUMA[I]*Za*(We*We)))*COS(2*PHI
      *OCG[I]/PGEL))-(((SUMD[I]*Za*(We))-(U*Za*We*DAN[I]))
      *SIN(2*PHI*OCG[I]/PGEL)))*(EXP(-(2*PHI/PGEL
      *SATA[I]))) *FAK[I]/RHO;
  End;

SUMO12:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUMO12:= SUMO12+SUMMM[I];
  End;
COFF2:= SEL*SUMO12/(3*GRAF);

```

{ PERHITUNGAN AMPLITUDO EXCITING FORCE }

```

FO:= SQRT((COFF1*COFF1)+(COFF2*COFF2));

```

{ PERHITUNGAN KOMPONEN EXCITING MOMENT 'M1' }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    BSIN[I] := SIN(2*PHI*OCG[I]/PGEL);
    BCOS[I] := COS(2*PHI*OCG[I]/PGEL);
    BSUMR[I] := SUMR[I]*Za;
    BSUMA[I] := SUMA[I]*Za*(We*We);
    BSUMD[I] := SUMD[I]*Za*(We);
    BU[I] := U*Za*We*DAN[I];
    BEXP[I] := EXP(-(2*PHI/PGEL*SATA[I]));
    SUMX[I] := (((((BSUMR[I])-(BSUMA[I])))*BSIN[I])
      +(((BSUMD[I])-(BU[I]))
      *BCOS[I]))*(BEXP[I]))*OCG[I]*FAK[I]/RHO;

  End;

FAK[1]:= SUM[1];
FAK[N]:= SUM[N];
SUMO13:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUMO13 := SUMO13+SUMX[I]
  End;
COFM1 := SEL*SUMO13/(3*GRAF);

```

{ PERHITUNGAN KOMPONEN EXCITING MOMENT 'M2' }

```

for I:= 1 to N do
  Begin
    BSIN[I] := SIN(2*PHI*OCG[I]/PGEL);
    BCOS[I] := COS(2*PHI*OCG[I]/PGEL);
    BSUMR[I]:= SUMR[I]*Za;
    BSUMA[I]:= SUMA[I]*Za*(We*We);
    BSUMD[I]:= SUMD[I]*Za*(We);
    BU[I] := U*Za*We*DAN[I];
    BEXP[I] := EXP(-(2*PHI/PGEL*SATA[I]));
    SUMC[I] := (((((BSUMR[I])-(BSUMA[I]))*BCOS[I])
      -(((BSUMD[I])-(BU[I]))
      *BSIN[I]))*(BEXP[I]))*OCG[I]*FAK[I]/RHO;

  End;

SUMO14:= 0.0;
for I:= 1 to N do
  Begin
    SUMO14:= SUMO14+SUMC[I];
  End;
COFM2:= SEL*SUMO14/(3*GRAF);

```

{ PERHITUNGAN AMPLITUDO EXCITING MOMENT }

AMO:= SQRT((COFM1*COFM1)+(COFM2*COFM2));

{ PERHITUNGAN BEDA PHASE ANTARA GERAKAN KAPAL DENGAN GELOMBANG }

ALPA:= ARCTAN(COFF2/COFF1);

ALP:= (ALPA*180/3.14)+180;

TETA:= ARCTAN(COFM2/COFM1);

TET:= (TETA*180/3.14);

{ Perhitungan 'P', 'R', 'S', 'Q' }

PRE:= -((BMASS+ADD1)*(We*We))+REST1;

PIM:= DAMP1*We;

SRE:= -((BIMASS+ADD2)*(We*We))+REST2;

SIM:= DAMP2*We;

QRE:= -(COFd*(We*We))+COFh;

QIM:= COFe*We;

RRE:= -(COFD*(We*We))+COFH1;

RIM:= COFE1*We;

{Perhitungan PS}

CRE11:= PRE*SRE;

CRE21:= -(PIM*SIM);

CIM11:= PIM*SRE;

CIM21:= PRE*SIM;

PSRE:= CRE11+CRE21;

PSIM:= CIM11+CIM21;

{Perhitungan QR }

CRE12:= QRE*RRE;

CRE22:= -(QIM*RIM);

CIM12:= QIM*RRE;

CIM22:= QRE*RIM;

QRRE:= CRE12+CRE22;

QRIM:= CIM12+CIM22;

PSMQRR:= PSRE - QRRE;

PSMQRI:= PSIM - QRIM;

PSQRIS:= - PSMQRI;

{Perhitungan PS-QR }

CRE13:= PSMQRR*PSMQRR;

CRE23:= -(PSMQRI*PSQRIS);

CIM13:= PSMQRI*PSMQRR;

CIM23:= PSMQRR*PSQRIS;

PQHRE:= CRE13+CRE23;

PQHIM:= CIM13+CIM23;

FRE:= COEF1;

FIM:= COFF2;

CMRE:= COFM1;

CMIM:= COFM2;

{Perhitungan FS}

CRE14:= FRE*SRE;
CRE24:= -(FIM*SIM);
CIM14:= FIM*SRE;
CIM24:= FRE*SIM;
FSRE:= CRE14+CRE24;
FSIM:= CIM14+CIM24;

{Perhitungan QM }

CRE15:= CMRE*QRE;
CRE25:= -(CMIM*QIM);
CIM15:= CMIM*QRE;
CIM25:= CMRE*QIM;
QMRE:= CRE15+CRE25;
QMIM:= CIM15+CIM25;

{Perhitungan FS-MQ}

FSMMQR:= FSRE-QMRE;
FSMMQI:= FSIM-QMIM;

{Perhitungan (FS-MQ) (PS-QR)}

CRE16:= FSMMQR*PSMQRR;
CRE26:= -(FSMMQI*PSQRIS);
CIM16:= FSMMQI*PSMQRR;
CIM26:= FSMMQR*PSQRIS;
FPHRE:= CRE16+CRE26;
FPHIM:= CIM16+CIM26;

{Perhitungan PM}

CRE17:= CMRE*PRE;
CRE27:= -(CMIM*PIM);
CIM17:= CMIM*PRE;
CIM27:= CMRE*PIM;
PMRE:= CRE17+CRE27;
PMIM:= CIM17+CIM27;

{Perhitungan FR}

CRE18:= FRE*RRE;
CRE28:= -(FIM*RIM);
CIM18:= FIM*RRE;
CIM28:= FRE*RIM;
FRRE:= CRE18+CRE28;
FRIM:= CIM18+CIM28;

{Perhitungan PM-FR}

PMMFRR:= PMRE - FRRE;
PMMFRI:= PMIM - FRIM;

{Perhitungan (MP-FR)(PS-QR)}

CRE19:= PMMFRR*PSMQRR;
CRE29:= -(PMMFRI*PSQRIS);
CIM19:= PMMFRI*PSMQRR;
CIM29:= PMMFRR*PSQRIS;
PMHRE:= CRE19+CRE29;
PMHIM:= CIM19+CIM29;

```
{ PERHITUNGAN AMPLITUDO GERAKAN HEAVING }
```

```
ZRE:= (FPHRE/PQHRE);
ZIM:= (FPHIM/PQHRE);
ZTOT:= SQRT((ZRE*ZRE)+(ZIM*ZIM));
```

```
{ PERHITUNGAN AMPLITUDO GERAKAN PITCHING }
```

```
TETRE:= PMHRE/PQHRE;
TETIM:= PMHIM/PQHRE;
TETOT:= SQRT((TETRE*TETRE)+(TETIM*TETIM));
TETOTE:=TETOT*180/PHI;
```

```
{ PERHITUNGAN SUDUT PHASE GERAKAN HEAVING HEAVING DAN PITCHING }
```

```
DELT:= ARCTAN(ZIM/ZRE);
DELTA:= DELT * 180 /3.14;
ETHA:= ARCTAN(TETIM/TETRE);
ETHAA:= ETHA * 180 /3.14;
```

```
{ MENAMPILKAN HASIL PERHITUNGAN DI LAYAR }
```

```
GotoXY (10,5);
WRITELN(' #####');
GotoXY (10,6);
WRITELN(' *****HASIL PERHITUNGAN KOEFISIEN-KOEFISIEN*****');
GotoXY (10,7);
WRITELN(' #####');
GotoXY (5,12);
WRITELN(' ^ ADDED MASS HEAVING = ',ADD1:8:3,' ton');
GotoXY (5,13);
WRITELN(' ^ DAMPING FORCE HEAVING = ',DAMP1:8:3,
'ton/detik');
GotoXY (5,14);
WRITELN(' ^ RESTORING FORCE HEAVING = ',REST1:8:3,
'ton/detik^2');
GotoXY (5,15);
WRITELN(' ^ ADDED MASS PITCHING = ',ADD2:8:3,
'(ton.m^2)/(rad)');
GotoXY (5,16);
WRITELN(' ^ DAMPING FORCE PITCHING = ',DAMP2:8:3,
'(ton.m^2)/(detik.rad)');
GotoXY (5,17);
WRITELN(' ^ RESTORING FORCE PITCHING= ',REST2:8:3,
'(ton.m^2)/(detik^2.rad)');
Readln; CLRSCR;
```

```

GotoXY (10,5);
WRITELN('#####');
GotoXY (10,6);
WRITELN('      COEFISIENT-COEFISIENT COUPLE HEAVING-PITCHING ');
GotoXY (10,7);
WRITELN('#####');
GotoXY (5,10);
WRITELN('      ^ COEFISIENT d      = ',COFD:8:3,
      '(ton.m)/(rad)');

GotoXY (5,11);
WRITELN('      ^ COEFISIENT D      = ',COFD:8:3, '(ton.m)');
GotoXY (5,12);
WRITELN('      ^ COEFISIENT e      = ',COFe:8:3,
      '(ton.m)/(detik.rad)');

GotoXY (5,13);
WRITELN('      ^ COEFISIENT E      = ',COFE1:8:3,
      '(ton.m)/(detik)');

GotoXY (5,14);
WRITELN('      ^ COEFISIENT h      = ',COFH:8:3,
      '(ton.m)/(detik^2.rad)');

GotoXY (5,15);
WRITELN('      ^ COEFISIENT H      = ',COFH1:8:3,
      '(ton.m)/(detik^2)');

ReadLn;CLRSCR;
GotoXY (10,2);
WRITELN('#####');
GotoXY (10,3);
WRITELN('      HASIL PERHITUNGAN AKHIR ');
GotoXY (10,4);
WRITELN('#####');
GotoXY (5,6);
WRITELN('      ^ MASSA KAPAL      = ',BMASS:8:3,
      ' ton');

GotoXY (5,7);
WRITELN('      ^ MOMENT INERSIA MASSA KAPAL      = ',BIMASS:8:3,
      ' ton.m^2/rad');

GotoXY (5,8);
WRITELN('      ^ EXCITING FORCE GERAKAN HEAVING      = ',COFF1:8:3,
      '(ton.m/det^2)');

GotoXY (5,9);
WRITELN('      ^ EXCITING FORCE GERAKAN PITCHING      = ',COFF2:8:3,
      '(ton.m/detik^2)');

GotoXY (5,10);
WRITELN('      ^ AMPLITUDO EXCITING FORCE      = ',FO:8:3,
      '(ton.m/det^2)');

GotoXY (5,11);
WRITELN('      ^ EXCITING MOMENT GERAKAN HEAVING      = ',COFM1:8:3,
      ' ton.m');

```



```

GotoXY (5,12);
WRITELN('      ^ EXCITING MOMENT GERAKAN PITCHING = ',COFM2:8:3,
        ' ton.m');
GotoXY (5,13);
WRITELN('      ^ AMPLITUDO EXCITING MOMENT          = ',AMO:8:3,
        ' ton.m');
GotoXY (5,14);
WRITELN('      ^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN ');
GotoXY (5,15);
WRITELN('      ^ HEAVING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = ',ALP:8:3,
        ' derajat');
GotoXY (5,16);
WRITELN('      ^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN ');
GotoXY (5,17);
WRITELN('      ^ PITCHING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = ',TET:8:3,
        ' derajat');
GotoXY (5,18);
WRITELN('      ^ AMPLITUDO GERAKAN HEAVING          = ',ZTOT:8:5,
        ' meter');
GotoXY (5,19);
WRITELN('      ^ AMPLITUDO GERAKAN PITCHING          = ',TETOT:8:5,
        ' radian');
GotoXY (5,20);
WRITELN('      ^                                     = ',TETOTE:8:3,
        ' derajat');
GotoXY (5,21);
WRITELN('      ^ SUDUT PHASE HEAVING                  = ',DELT:8:3,
        ' radian');
GotoXY (5,22);
WRITELN('      ^                                     = ',DELTA:8:3,
        ' derajat');
GotoXY (5,23);
WRITELN('      ^ SUDUT PHASE PITCHING                  = ',ETHA:8:3,
        ' radian');
GotoXY (5,24);
WRITELN('      ^                                     = ',ETHAA:8:3,
        ' derajat');
READLN;
READLN;CLRSCR;
GotoXY (10,10);
WRITELN('      === PROGRAM TELAH SELESAI DIOPERASIKAN ===');
GotoXY (10,12);
WRITELN('      TERIMA KASIH BANYAK ATAS PERHATIANNYA');
GotoXY (10,13);
WRITELN('      ' );
READLN;

```

end.

CONTOH - CONTOH HASIL

 *****HASIL PERHITUNGAN KOEFISIEN-KOEFISIEN*****
 #####

^ ADDED MASS HEAVING = 13.109 ton
 ^ DAMPING FORCE HEAVING = 25.839 ton/detik
 ^ RESTORING FORCE HEAVING = 93.697 ton/detik²
 ^ ADDED MASS PITCHING = 179.740 (ton.m²)/(rad)
 ^ DAMPING FORCE PITCHING = 486.990 (ton.m²)/(detik.rad)
 ^ RESTORING FORCE PITCHING= 1824.957 (ton.m²)/(detik².rad)

 COEFISIEN-KOEFISIEN COUPLE HEAVING-PITCHING
 #####

^ COEFISIEN d = 8.686(ton.m)/(rad)
 ^ COEFISIEN D = 8.686(ton.m)
 ^ COEFISIEN e = 61.986(ton.m)/(detik.rad)
 ^ COEFISIEN E = -32.402(ton.m)/(detik)
 ^ COEFISIEN h = 146.194(ton.m)/(detik².rad)
 ^ COEFISIEN H = 53.172(ton.m)/(detik²)

 HASIL PERHITUNGAN AKHIR
 #####

^ MASSA KAPAL = 20.375 ton
 ^ MOMENT INERSIA MASSA KAPAL = 499.027 ton.m²/rad
 ^ EXCITING FORCE GERAKAN HEAVING = 15.711 (ton.m/det²)
 ^ EXCITING FORCE GERAKAN PITCHING = 1.418 (ton.m/detik²)
 ^ AMPLITUDO EXCITING FORCE = 15.775 (ton.m/det²)
 ^ EXCITING MOMENT GERAKAN HEAVING = 20.751 ton.m
 ^ EXCITING MOMENT GERAKAN PITCHING = -68.473 ton.m
 ^ AMPLITUDO EXCITING MOMENT = 71.549 ton.m
 ^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
 ^ HEAVING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = 185.159 derajat
 ^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
 ^ PITCHING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = -73.177 derajat
 ^ AMPLITUDO GERAKAN HEAVING = 0.09308 meter
 ^ AMPLITUDO GERAKAN PITCHING = 0.04292 radian
 ^ = 2.460 derajat
 ^ SUDUT PHASE HEAVING = 1.250 radian
 ^ = 71.666derajat
 ^ SUDUT PHASE PITCHING = -0.542 radian
 ^ = -31.061derajat

 *****HASIL PERHITUNGAN KOEFISIEN-KOEFISIEN*****
 #####

^ ADDED MASS HEAVING = 13.505 ton
 ^ DAMPING FORCE HEAVING = 29.345 ton/detik
 ^ RESTORING FORCE HEAVING = 93.697 ton/detik²
 ^ ADDED MASS PITCHING = 185.912 (ton.m²)/(rad)
 ^ DAMPING FORCE PITCHING = 508.790 (ton.m²)/(detik.rad)
 ^ RESTORING FORCE PITCHING= 1810.585 (ton.m²)/(detik².rad)

 COEFISIEN-KOEFISIEN COUPLE HEAVING-PITCHING
 #####

^ COEFISIEN d = 8.576(ton.m)/(rad)
 ^ COEFISIEN D = 8.576(ton.m)
 ^ COEFISIEN e = 68.826(ton.m)/(detik.rad)
 ^ COEFISIEN E = -28.410(ton.m)/(detik)
 ^ COEFISIEN h = 158.814(ton.m)/(detik².rad)
 ^ COEFISIEN H = 53.172(ton.m)/(detik²)

 HASIL PERHITUNGAN AKHIR
 #####

^ MASSA KAPAL = 20.375 ton
 ^ MOMENT INERSIA MASSA KAPAL = 499.027 ton.m²/rad
 ^ EXCITING FORCE GERAKAN HEAVING = 19.367 (ton.m/det²)
 ^ EXCITING FORCE GERAKAN PITCHING = 5.350 (ton.m/detik²)
 ^ AMPLITUDO EXCITING FORCE = 20.092 (ton.m/det²)
 ^ EXCITING MOMENT GERAKAN HEAVING = 21.829 ton.m
 ^ EXCITING MOMENT GERAKAN PITCHING = -55.465 ton.m
 ^ AMPLITUDO EXCITING MOMENT = 59.606 ton.m
 ^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
 ^ HEAVING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = 195.451 derajat
 ^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
 ^ PITCHING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = -68.552 derajat
 ^ AMPLITUDO GERAKAN HEAVING = 0.24492 meter
 ^ AMPLITUDO GERAKAN PITCHING = 0.04918 radian
 ^ = 2.819 derajat
 ^ SUDUT PHASE HEAVING = -0.714 radian
 ^ = -40.938derajat
 ^ SUDUT PHASE PITCHING = 0.133 radian
 ^ = 7.635derajat

```
#####
*****HASIL PERHITUNGAN KOEFISIEN-KOEFISIEN*****
#####
```

```
^ ADDED MASS HEAVING = 14.497 ton
^ DAMPING FORCE HEAVING = 29.687 ton/detik
^ RESTORING FORCE HEAVING = 93.697 ton/detik^2
^ ADDED MASS PITCHING = 203.492 (ton.m^2)/(rad)
^ DAMPING FORCE PITCHING = 521.293 (ton.m^2)/(detik.rad)
^ RESTORING FORCE PITCHING= 1785.074 (ton.m^2)/(detik^2.rad)
```

```
#####
COEFISIEN-KOEFISIEN COUPLE HEAVING-PITCHING
#####
```

```
^ COEFISIEN d = 9.562(ton.m)/(rad)
^ COEFISIEN D = 9.562(ton.m)
^ COEFISIEN e = 83.055(ton.m)/(detik.rad)
^ COEFISIEN E = -21.324(ton.m)/(detik)
^ COEFISIEN h = 160.045(ton.m)/(detik^2.rad)
^ COEFISIEN H = 53.172(ton.m)/(detik^2)
```

```
#####
HASIL PERHITUNGAN AKHIR
#####
```

```
^ MASSA KAPAL = 20.375 ton
^ MOMENT INERSIA MASSA KAPAL = 499.027 ton.m^2/rad
^ EXCITING FORCE GERAKAN HEAVING = 18.610 (ton.m/det^2)
^ EXCITING FORCE GERAKAN PITCHING = 8.098 (ton.m/detik^2)
^ AMPLITUDO EXCITING FORCE = 20.296 (ton.m/det^2)
^ EXCITING MOMENT GERAKAN HEAVING = 14.520 ton.m
^ EXCITING MOMENT GERAKAN PITCHING = -43.091 ton.m
^ AMPLITUDO EXCITING MOMENT = 45.471 ton.m
^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
HEAVING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = 203.528 derajat
^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
PITCHING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = -71.414 derajat
^ AMPLITUDO GERAKAN HEAVING = 0.31954 meter
^ AMPLITUDO GERAKAN PITCHING = 0.03988 radian
^ = 2.286 derajat
^ SUDUT PHASE HEAVING = -0.052 radian
^ = -2.974derajat
^ SUDUT PHASE PITCHING = 0.280 radian
^ = 16.079derajat
```

```
#####
*****HASIL PERHITUNGAN KOEFISIEN-KOEFISIEN*****
#####
```

```
^ ADDED MASS HEAVING = 15.719 ton
^ DAMPING FORCE HEAVING = 29.134 ton/detik
^ RESTORING FORCE HEAVING = 93.697 ton/detik^2
^ ADDED MASS PITCHING = 223.979 (ton.m^2)/(rad)
^ DAMPING FORCE PITCHING = 527.847 (ton.m^2)/(detik.rad)
^ RESTORING FORCE PITCHING= 1806.245 (ton.m^2)/(detik^2.rad)
```

```
#####
COEFISIEN-KOEFISIEN COUPLE HEAVING-PITCHING
#####
```

```
^ COEFISIEN d = 9.369(ton.m)/(rad)
^ COEFISIEN D = 9.369(ton.m)
^ COEFISIEN e = 85.969(ton.m)/(detik.rad)
^ COEFISIEN E = -27.205(ton.m)/(detik)
^ COEFISIEN h = 158.053(ton.m)/(detik^2.rad)
^ COEFISIEN H = 53.172(ton.m)/(detik^2)
```

```
#####
HASIL PERHITUNGAN AKHIR
#####
```

```
^ MASSA KAPAL = 20.375 ton
^ MOMENT INERSIA MASSA KAPAL = 499.027 ton.m^2/rad
^ EXCITING FORCE GERAKAN HEAVING = 17.434 (ton.m/detik^2)
^ EXCITING FORCE GERAKAN PITCHING = 9.065 (ton.m/detik^2)
^ AMPLITUDO EXCITING FORCE = 19.650 (ton.m/detik^2)
^ EXCITING MOMENT GERAKAN HEAVING = 13.631 ton.m
^ EXCITING MOMENT GERAKAN PITCHING = -36.699 ton.m
^ AMPLITUDO EXCITING MOMENT = 39.148 ton.m
^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
HEAVING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = 207.488 derajat
^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
PITCHING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = -69.659 derajat
^ AMPLITUDO GERAKAN HEAVING = 0.32298 meter
^ AMPLITUDO GERAKAN PITCHING = 0.03531 radian
= 2.024 derajat
^ SUDUT PHASE HEAVING = 0.389 radian
= 22.290derajat
^ SUDUT PHASE PITCHING = 0.477 radian
= 27.345derajat
```

```
#####
*****HASIL PERHITUNGAN KOEFISIEN-KOEFISIEN*****
#####
```

```
^ ADDED MASS HEAVING      = 16.723 ton
^ DAMPING FORCE HEAVING    = 30.045 ton/detik
^ RESTORING FORCE HEAVING  = 93.697 ton/detik^2
^ ADDED MASS PITCHING     = 233.740 (ton.m^2)/(rad)
^ DAMPING FORCE PITCHING   = 531.818 (ton.m^2)/(detik.rad)
^ RESTORING FORCE PITCHING = 1817.004 (ton.m^2)/(detik^2.rad)
```

```
#####
COEFISIEN-KOEFISIEN COUPLE HEAVING-PITCHING
#####
```

```
^ COEFISIEN d      = 11.662(ton.m)/(rad)
^ COEFISIEN D      = 11.662(ton.m)
^ COEFISIEN e      = 90.211(ton.m)/(detik.rad)
^ COEFISIEN E      = -30.193(ton.m)/(detik)
^ COEFISIEN h      = 161.333(ton.m)/(detik^2.rad)
^ COEFISIEN H      = 53.172(ton.m)/(detik^2)
```

```
#####
HASIL PERHITUNGAN AKHIR
#####
```

```
^ MASSA KAPAL              = 20.375 ton
^ MOMENT INERSIA MASSA KAPAL = 499.027 ton.m^2/rad
^ EXCITING FORCE GERAKAN HEAVING = 17.065 (ton.m/det^2)
^ EXCITING FORCE GERAKAN PITCHING = 9.851 (ton.m/detik^2)
^ AMPLITUDO EXCITING FORCE    = 19.704 (ton.m/det^2)
^ EXCITING MOMENT GERAKAN HEAVING = 12.455 ton.m
^ EXCITING MOMENT GERAKAN PITCHING = -30.391 ton.m
^ AMPLITUDO EXCITING MOMENT   = 32.844 ton.m
^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
^ HEAVING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = 210.011 derajat
^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
^ PITCHING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = -67.750 derajat
^ AMPLITUDO GERAKAN HEAVING    = 0.29512 meter
^ AMPLITUDO GERAKAN PITCHING   = 0.03003 radian
^                               = 1.721 derajat
^ SUDUT PHASE HEAVING          = 0.679 radian
^                               = 38.941derajat
^ SUDUT PHASE PITCHING         = 0.693 radian
^                               = 39.724derajat
```


 *****HASIL PERHITUNGAN KOEFISIEN-KOEFISIEN*****
 #####

^ ADDED MASS HEAVING = 18.006 ton
 ^ DAMPING FORCE HEAVING = 24.478 ton/detik
 ^ RESTORING FORCE HEAVING = 93.697 ton/detik²
 ^ ADDED MASS PITCHING = 258.130 (ton.m²)/(rad)
 ^ DAMPING FORCE PITCHING = 353.926 (ton.m²)/(detik.rad)
 ^ RESTORING FORCE PITCHING= 1906.181 (ton.m²)/(detik².rad)

 COEFISIEN-KOEFISIEN COUPLE HEAVING-PITCHING
 #####

^ COEFISIEN d = 10.682(ton.m)/(rad)
 ^ COEFISIEN D = 10.682(ton.m)
 ^ COEFISIEN e = 74.677(ton.m)/(detik.rad)
 ^ COEFISIEN E = -54.965(ton.m)/(detik)
 ^ COEFISIEN h = 141.293(ton.m)/(detik².rad)
 ^ COEFISIEN H = 53.172(ton.m)/(detik²)

 HASIL PERHITUNGAN AKHIR
 #####

^ MASSA KAPAL = 20.375 ton
 ^ MOMENT INERSIA MASSA KAPAL = 499.027 ton.m²/rad
 ^ EXCITING FORCE GERAKAN HEAVING = 13.099 (ton.m/det²)
 ^ EXCITING FORCE GERAKAN PITCHING = 9.489 (ton.m/detik²)
 ^ AMPLITUDO EXCITING FORCE = 16.175 (ton.m/det²)
 ^ EXCITING MOMENT GERAKAN HEAVING = 21.942 ton.m
 ^ EXCITING MOMENT GERAKAN PITCHING = -18.472 ton.m
 ^ AMPLITUDO EXCITING MOMENT = 28.682 ton.m
 ^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
 ^ HEAVING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = 215.937 derajat
 ^ BEDA PHASE EXCITING FORCE GERAKAN
 ^ PITCHING DENGAN GERAKAN GELOMBANG = -40.114 derajat
 ^ AMPLITUDO GERAKAN HEAVING = 0.24289 meter
 ^ AMPLITUDO GERAKAN PITCHING = 0.02012 radian
 ^ = 1.153 derajat
 ^ SUDUT PHASE HEAVING = 1.075 radian
 ^ = 61.637derajat
 ^ SUDUT PHASE PITCHING = 1.342 radian
 ^ = 76.926derajat

TABLE 5.1 DEFINITIONS OF SEA CONDITIONS: WAVE AND SEA FOR FULLY ARISEN SEA**

Sea—General		Wind				Sea								
Sea State	Description	(Beaufort) Wind force	Description	Range (knots)	Wind Velocity (knots)	Wave Height			Significant Range Periods [sec]	Periods of maximum Energy of Spectra $T_{max} = T_s$	Average Period \bar{T}_s	Average Wave-length \bar{L}_w [ft unless otherwise indicated]	Minimum Fetch (nautical miles)	Minimum Duration [hr unless otherwise indicated]
						Average	Significant	Average of One-Tenth Highest						
	Sea like a mirror	U	Calm	1	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—
0	Ripples with the appearance of scales are formed, but without foam crests.	1	Light airs	1-3	2	0.04	0.01	0.09	1.2	0.75	0.5	10 in	5	18 min
1	Small wavelets; short but pronounced crests have a glossy appearance, but do not break.	2	Light breeze	4-6	5	0.3	0.5	0.6	0.4-2.8	1.9	1.3	6.7 ft	8	39 min
	Large wavelets; crests begin to break. Foam of glossy appearance. Perhaps scattered with horses.	3	Genile breeze	7-10	8.5	0.8	1.3	1.6	0.8-5.0	3.2	2.3	20	9.8	1.7
					10	1.1	1.8	2.3	1.0-6.0	3.2	2.7	27	10	2.4
2	Small waves, becoming larger; fairly frequent white horses.	4	Moderate breeze	11-16	12	1.6	2.6	3.3	1.0-7.0	4.5	3.2	40	18	3.8
					13.5	2.1	3.3	4.2	1.4-7.6	5.1	3.6	52	24	4.8
					14	2.3	3.6	4.6	1.5-7.8	5.3	3.8	59	28	5.2
3					16	2.9	4.7	6.0	2.0-8.8	6.0	4.3	71	40	6.6
4	Moderate waves, taking a more pronounced long form; many white horses are formed (chance of some spray).	5	Fresh breeze	17-21	18	3.7	5.9	7.5	2.5-10.0	6.8	4.8	90	55	8.3
					19	4.1	6.6	8.4	2.8-10.6	7.2	5.1	99	65	9.2
					20	4.6	7.3	9.3	3.0-11.1	7.5	5.4	111	75	10
5	Large waves begin to form; white crests are more extensive everywhere (probably some spray).	6	Strong breeze	22-27	22	5.5	8.8	11.2	3.4-12.2	8.3	5.9	134	100	12
					24	6.6	10.5	13.3	3.7-13.5	9.0	6.4	160	130	14
					24.5	6.8	10.9	13.8	3.8-13.6	9.2	6.6	164	140	15
6					26	7.7	12.3	15.6	4.0-14.5	9.8	7.0	188	180	17
7	Sea heaps up, and white foam from breaking waves being to be blown in streaks along the direction of the wind (spindrift begins to be seen).	7	Moderate gale	28-33	28	8.9	14.3	18.2	4.5-15.5	10.6	7.5	212	230	20
					30	10.3	16.4	20.8	4.7-16.7	11.3	8.0	250	280	23
					30.5	10.6	16.9	21.5	4.8-17.0	11.5	8.2	258	290	24
					32	11.6	18.6	23.6	5.0-17.5	12.1	8.6	285	340	27
7	Moderate high waves of greater length; edges of crests break into spindrift. The form is blown in well-marked streaks along the direction of the wind. Spray affects visibility.	8	Fresh gale	34-40	34	13.1	21.0	26.7	5.5-18.5	12.8	9.1	322	420	30
					36	14.8	23.6	30.0	5.8-19.7	13.6	9.6	363	500	34
					37	15.6	24.9	31.6	6-20.5	13.9	9.9	376	530	37
					38	16.4	26.3	33.4	6.2-20.8	14.3	10.2	392	600	38
					40	18.2	29.1	37.0	6.5-21.7	15.1	10.7	444	710	42
8	High waves. Dense streaks of foam along the direction of the wind. Sea begins to roll. Visibility affected.	9	Strong gale	41-37	42	20.1	32.1	40.8	7-23	15.8	11.3	492	830	47
					44	22.0	35.2	44.7	7-24.2	16.6	11.8	534	960	52
					46	24.1	38.5	48.9	7-25	17.3	12.3	590	1110	57
	Very high waves with long overhanging crests. The resulting foam is in great patches and is blown in dense white streaks along the direction of the wind. On the whole, the surface of the sea takes on a white appearance. The rolling of the sea becomes heavy and shocklike. Visibility is affected.	10	Whole* gale	48-55	40	26.2	41.9	53.2	7-5-26	18.1	12.9	650	1250	63
					50	28.4	45.5	57.8	7-5-27	18.8	13.4	700	1420	69
					51.5	30.2	48.3	61.3	8-28.2	19.4	13.8	736	1560	73
					52	30.8	49.2	62.5	8-28.5	19.6	13.9	750	1610	75
					54	33.2	53.1	67.4	8-29.5	20.4	14.5	810	1800	81
9	Exceptionally high waves. Sea completely covered with long white patches of foam lying in direction of wind. Everywhere edges of wave crests are blown into froth. Visibility affected.	11	Storm*	56-63	56	35.7	57.1	72.5	8.5-31	21.1	15	910	2100	88
					59.5	40.3	64.4	81.8	10-32	22.4	15.9	985	2500	101
	Air filled with foam and spray. Sea white with driving spray. Visibility very seriously affected.	12	Hurricane*	64-71	> 64	> 45.6	74.5	94.6	10-35	24.1	17.2	—	—	—

* For hurricane winds (and often whole gale and storm winds) required durations and reports are barely attained. Seas are therefore not fully arisen.

† Revised December 1964 by L. Moskowitz and W. Pierson. Used courtesy of The Navy Oceanographic Office.

**Harga Viskositas Kinematis ν Untuk Air Tawar Diambil Dari ITTC
Tahun 1963, Kadar Garam Air Laut 3,5 %**

$^{\circ}\text{C}$	air tawar $\frac{\text{m}^2}{\text{detik}} \cdot 10^{-6}$	air laut $\frac{\text{m}^2}{\text{detik}} \cdot 10^{-6}$
0	1,78667	1,82844
1	1,72701	1,76915
2	1,67040	1,71306
3	1,61655	1,65988
4	1,56557	1,60940
5	1,51698	1,56142
6	1,47070	1,51584
7	1,42667	1,47242
8	1,38471	1,43102
9	1,34463	1,39152
10	1,30641	1,35383
11	1,26988	1,31773
12	1,23495	1,28324
13	1,20159	1,25028
14	1,16964	1,21862
15	1,13902	1,18831
16	1,10966	1,15916
17	1,08155	1,13125
18	1,05456	1,10438
19	1,02865	1,07854
20	1,00374	1,05372

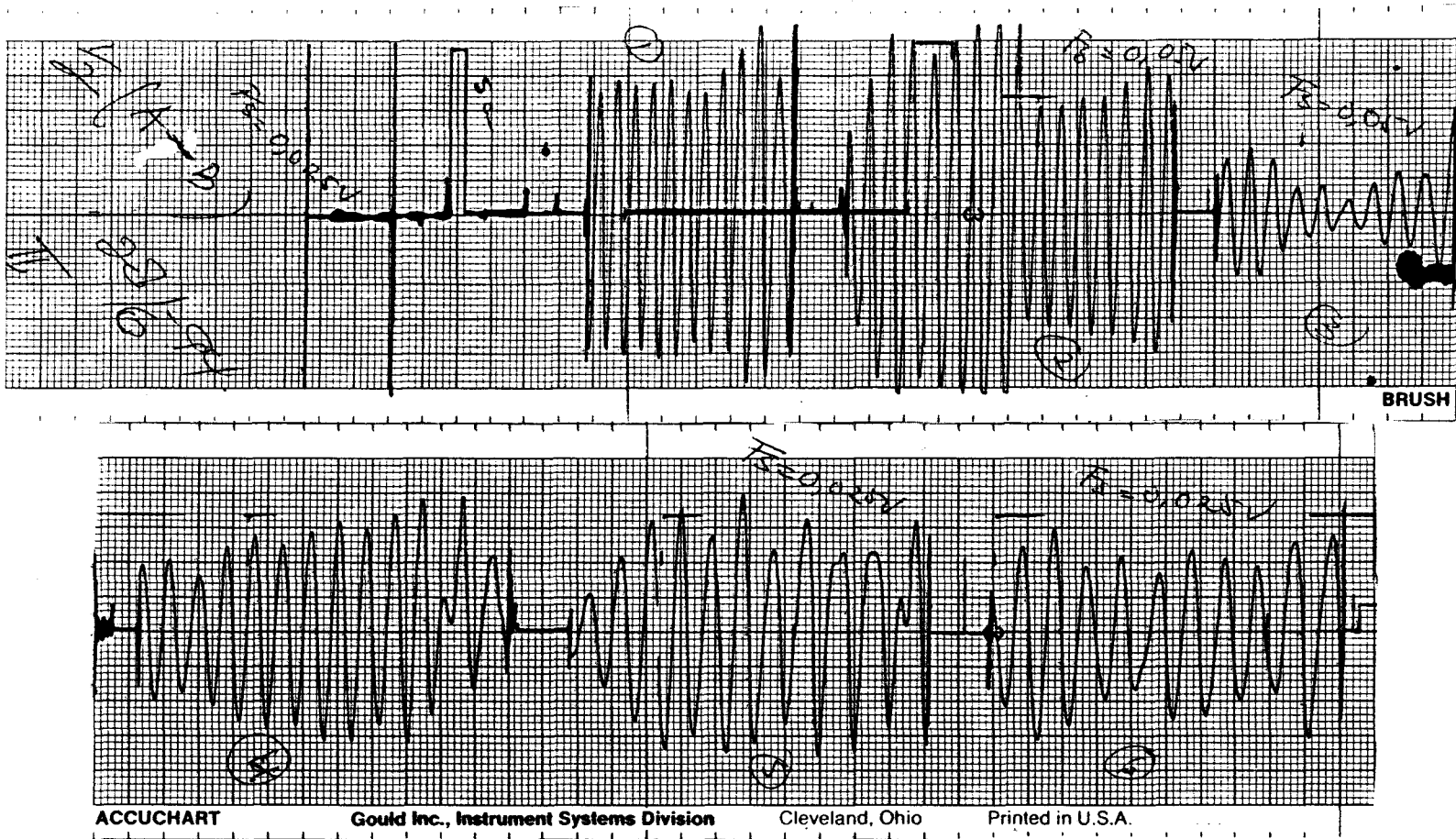
21	0,97984	1,02981
22	0,95682	1,00678
23	0,93471	0,98457
24	0,91340	0,96315
25	0,89292	0,94252
26	0,87313	0,92255
27	0,85409	0,90331
28	0,83572	0,88470
29	0,81798	0,86671
30	0,80091	0,84931

MASSA JENIS AIR TAWAR DAN AIR ASIN PADA BERBAGAI SUHU DALAM °C

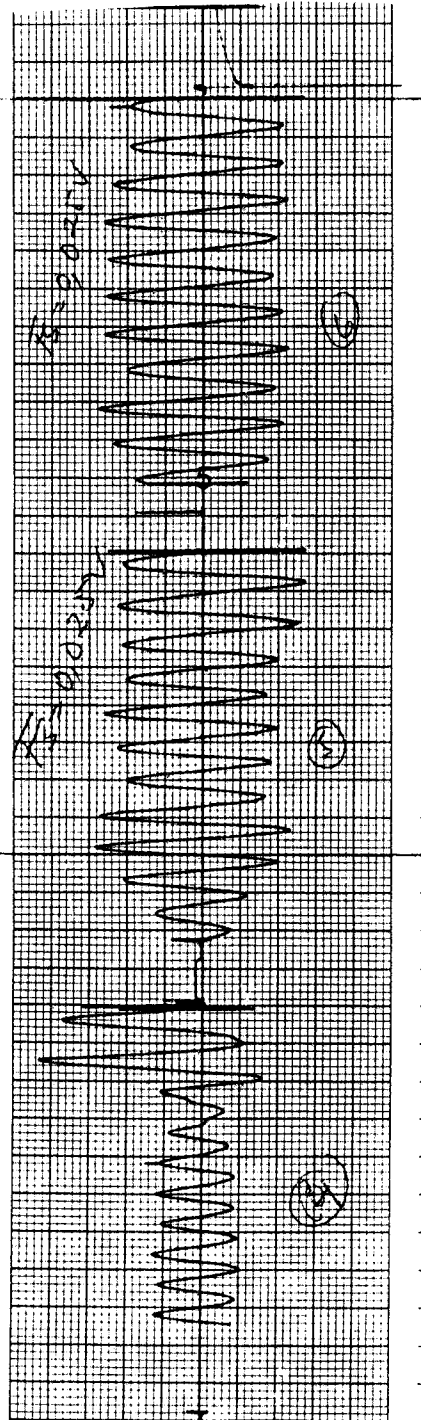
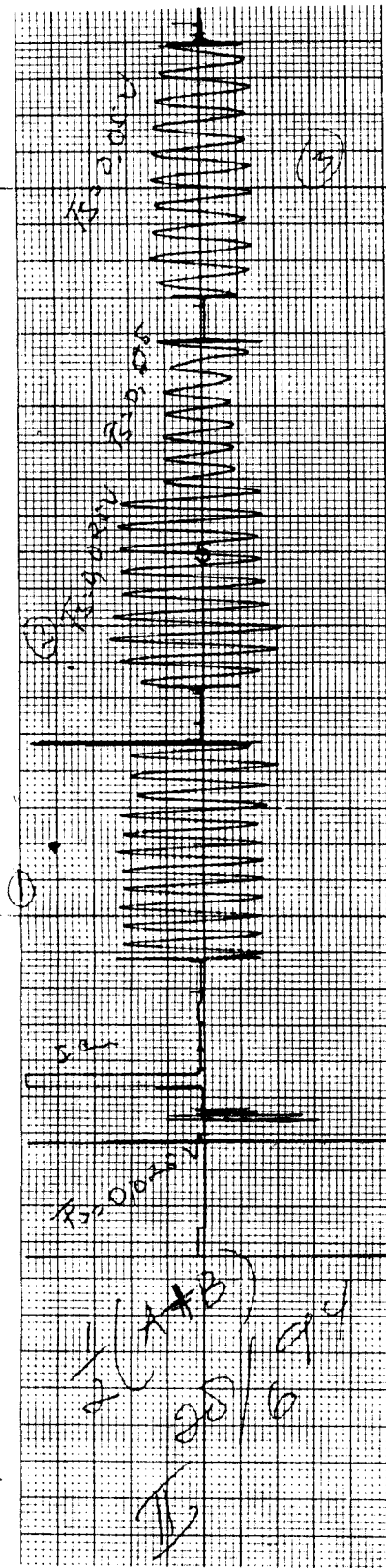
Air Tawar				Air Asin Dengan Kadar Garam 3,5%			
° C	kg/m ³	° C	kg/m ³	° C	kg/m ³	° C	kg/m ³
0	999,8	16	998,9	0	1028,0	16	1025,7
1	999,8	17	998,7	1	1027,9	17	1025,4
2	999,9	18	998,5	2	1027,8	18	1025,2
3	999,9	19	998,3	3	1027,8	19	1025,0
4	999,9	20	998,1	4	1027,4	20	1024,7
5	999,9	21	997,9	5	1027,6	21	1024,4
6	999,9	22	997,7	6	1027,4	22	1024,1
7	999,8	23	997,4	7	1027,3	23	1023,8
8	999,8	24	997,2	8	1027,1	24	1023,5
9	999,7	25	996,9	9	1027,0	25	1023,2
10	999,6	26	996,7	10	1026,9	26	1022,9
11	999,5	27	996,4	11	1026,7	27	1022,6
12	999,4	28	996,2	12	1026,6	28	1022,3
13	999,3	29	995,9	13	1026,3	29	1022,0
14	999,1	30	995,6	14	1026,1	30	1021,7
15	999,0			15	1025,9		

**SKALA MODEL DENGAN KAPAL PADA UJI KOPEL
HEAVING DAN PITCHING**

	MODEL	KAPAL
Skala	1	10
Panjang LPP	2,020 m	20,20 m
Lebar	0,7 m	7 m
Sarat	0,21 m	2,1 m
Tinggi	0,23 m	2,3 m
Kecepatan kapal	V	$\sqrt{10} \cdot V$
Amplitudo gelombang	0,01675 m	0,1675 m
Panjang gelombang	Lw	10 . Lw

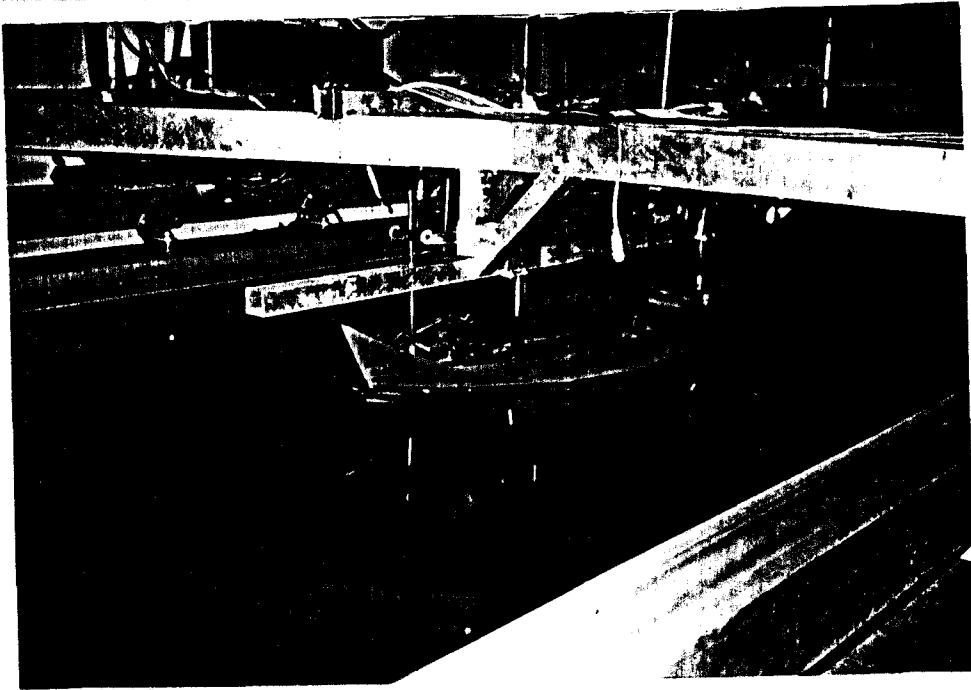


Contoh Hasil Percobaan Kopel Heaving Dan Pitching
Untuk Kemiringan 5° Berupa Grafik (1/2 A-B)

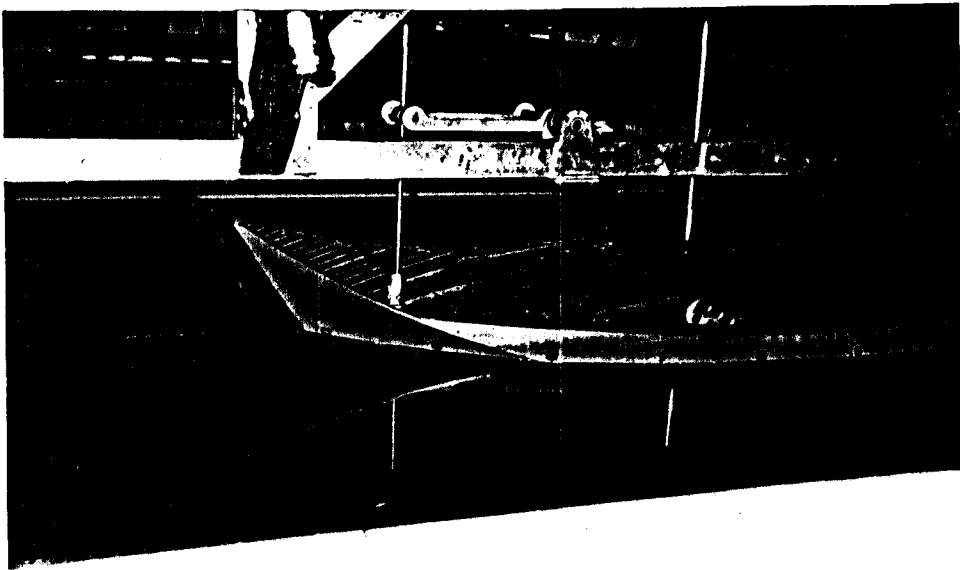


Contoh Hasil Percobaan Kopel Heaving Dan Pitching

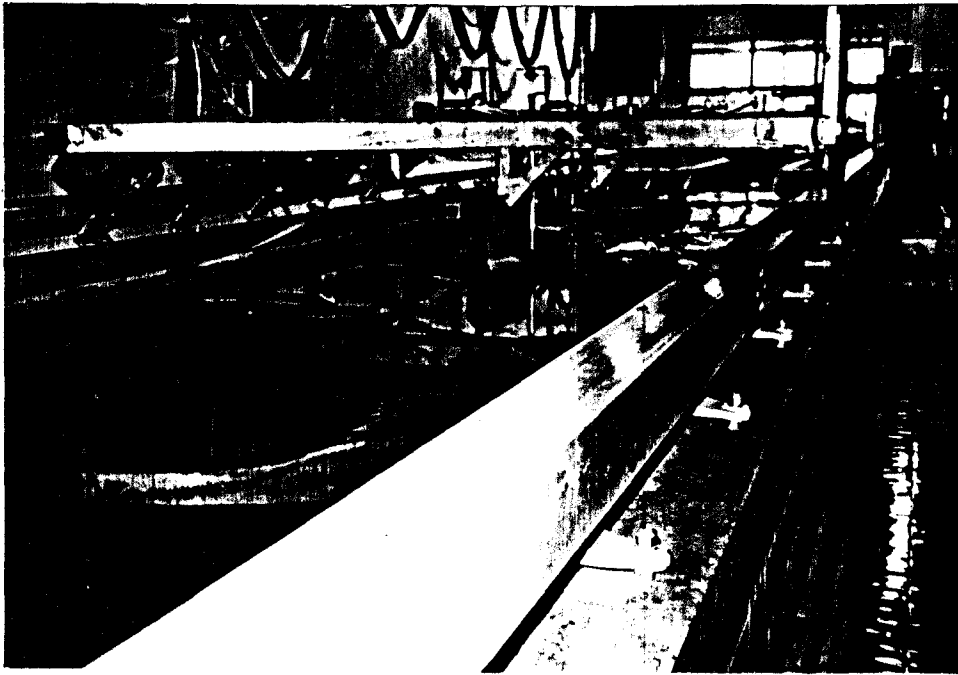
Untuk Kemiringan 5° Berupa Grafik $(1/2 A + B)$



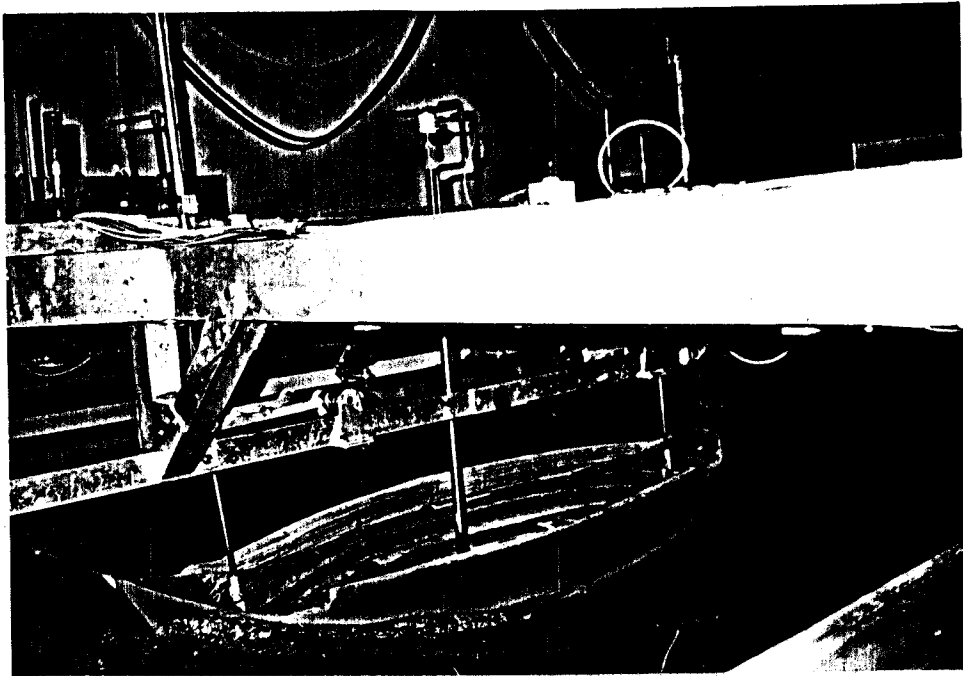
Uji tahanan model untuk kemiringan 0° Pada $V_m = 1,040$ m/s



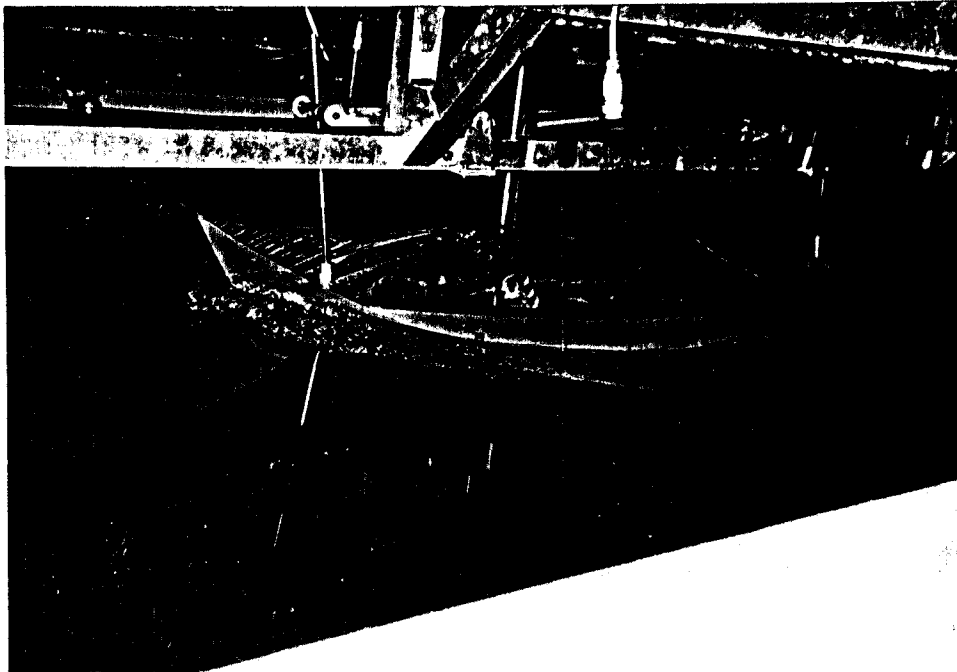
Uji tahanan model untuk kemiringan 10° Pada $V_m = 0,836$ m/s



Uji kopel heave dan pitch posisi tanpa kemiringan di gelombang regular,
ketinggian gelombang sebesar 3,35 cm, kecepatan model 0,708 m/s,
panjang gelombang 2 meter



Uji kopel heave dan pitch posisi kemiringan 5° di gelombang regular,
ketinggian gelombang sebesar 3,35 cm, kecepatan model 0,708 m/s,
panjang gelombang 2 meter



Uji kopel heave dan pitch posisi kemiringan 10° di gelombang regular,
ketinggian gelombang sebesar 3,35 cm, kecepatan model 0,708 m/s,
panjang gelombang 2 meter

